Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences des écosystèmes et des océans | Ecosystems and Oceans Science
Secrétariat canadien de consultation scientifique
Région du Golfe | Avis scientifique 2016/017

RISQUES ET AVANTAGES DES ACTIVITÉS D'ENSEMENCEMENT AVEC DU SAUMON JUVÉNILE ÉLEVÉ EN CAPTIVITÉ JUSQU'À L'ÂGE ADULTE POUR LA VALEUR ADAPTATIVE DU SAUMON DE L'ATLANTIQUE SAUVAGE (SALMO SALAR)

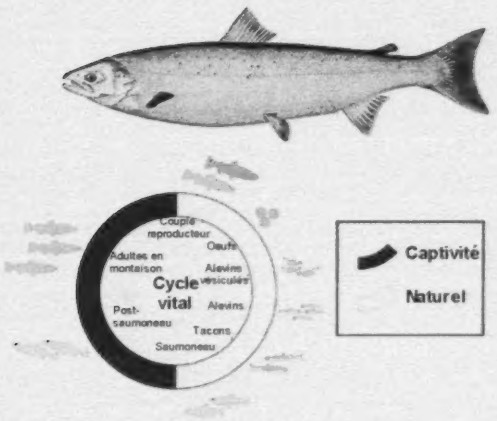

Figure fournie par P. O'Reilly (MPO)

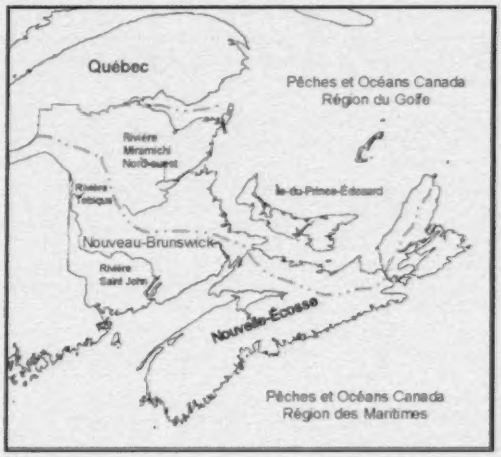

Figure 1. Emplacement des rivières mentionnées dans le texte ainsi que de la région du Golfe de Pêches et Océans Canada (MPO) dans les provinces maritimes.

Contexte :

En réponse aux montaisons particulièrement faibles du saumon de l'Atlantique dans la rivière Miramichi Nord-Ouest (Nouveau-Brunswick, Canada; figure 1) pour la période de 2012 à 2014, un groupe d'organisations non gouvernementales du Nouveau-Brunswick a proposé un programme d'ensemencement des stocks consistant à capturer des saumoneaux sauvages, à les élever en captivité en eau douce jusqu'à l'âge stade adulte, puis à remettre en liberté ces poissons adultes dans la rivière (annexe 1). Cette activité vise à contourner les faibles taux de montaison des saumoneaux et des adultes en mer observés chez le saumon de l'Atlantique ainsi qu'à accroître l'échappée de géniteurs. La région des Maritimes du MPO a entrepris l'élevage en captivité de saumoneaux sauvages jusqu'à l'âge adulte et la remise en liberté pour le frai des adultes élevés en captivité dans les cours d'eau visés. Il s'agit de l'une des mesures de rétablissement visant les populations de saumon de l'intérieur de la baie de Fundy et de la rivière Saint John (N.-B.; figure 1) qui sont en voie de disparition. Toutefois, cette mesure n'a jamais ciblé les populations de saumon de la région du Golfe, lesquelles ne sont pas considérées comme étant à risque de disparition.

Pour créer un précédent concernant l'ensemencement des populations de saumon de l'Atlantique dans la région du Golfe du MPO, un examen scientifique par les pairs a été recommandé en vue de fournir des conseils au secteur Gestion des pêches et de l'aquaculture du MPO, qui veille à la délivrance des permis pour ce type d'activité. Les conseils fournis seront pertinents dans le contexte de l'activité

Canada

proposée d'ensemencement avec du saumon adulte élevé en captivité pour la rivière Miramichi Nord-Ouest, et ils pourraient être utilisés pour traiter des demandes semblables dans d'autres bassins versants, s'il y a lieu. L'examen scientifique ne prend pas en considération les risques associés aux programmes d'ensemencement avec du saumon juvénile (alevins, tacons ou saumoneaux) qui se pratiquent présentement dans plusieurs rivières de la région du Golfe du MPO.

Le présent avis scientifique découle de la réunion régionale d'examen scientifique par les pairs qui s'est déroulée du 14 au 16 décembre 2015 et dont l'objectif était d'examiner les risques et les avantages des activités d'ensemencement avec du saumon adulte élevé en captivité pour la valeur adaptative du saumon sauvage de l'Atlantique. Les participants à l'examen incluaient notamment le secteur Sciences des écosystèmes et des océans du MPO (régions du Golfe, des Maritimes, de Terre-Neuve-et-Labrador, du Pacifique et de la capitale nationale), le secteur Gestion des écosystèmes et des pêches du MPO (région du Golfe), des experts nationaux et internationaux invités, des représentants des groupes d'ONG à l'origine du projet, des représentants des gouvernements des provinces maritimes ainsi que des organisations autochtones.

SOMMAIRE

- Le présent examen s'est avéré difficile en raison du manque de renseignements disponibles pour évaluer les avantages et les risques liés à l'ensemencement avec des saumons juvéniles/saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte (ESA).
- L'ESA consiste à capturer des saumons juvéniles aux stades de développement en eau douce, à les élever en captivité jusqu'à leur maturité et à remettre en liberté les adultes dans les rivières d'origine pour le frai. Cette activité devrait être avantageuse pour les populations de saumons, dans la mesure où elle permet de contourner la phase marine du cycle de vie, entraînant ainsi une augmentation démographique rapide de l'abondance des populations de saumon présentant un faible taux de survie en mer.
- À l'heure actuelle, l'ESA est utilisé dans les régions où les populations de saumon courent un risque élevé de disparition et dans les cas où les populations de saumon courent un risque de perte de diversité génétique à cause du très faible nombre de saumons adultes, ce qui pourrait avoir une incidence sur la viabilité de la population à long terme.
- Même si l'ESA réduit certains des risques connus associés à l'ensemencement traditionnel avec des saumons juvéniles, il entraîne des risques à d'autres moments du cycle de vie anadrome, qui ne sont d'ailleurs pas bien compris.
- Des changements génétiques adaptatifs associés à la captivité, que ce soit par sélection involontaire, par sélection de domestication et par un assouplissement de la sélection naturelle, peuvent survenir rapidement, même à l'intérieur d'une génération.
- Les avantages immédiats découlant d'une abondance accrue du saumon, en raison de l'augmentation du taux de reproduction et de frai des poissons issus de l'ESA, pourraient être contrebalancés par l'attente selon laquelle la valeur adaptative moyenne des descendants de poissons élevés en captivité sera réduite par rapport à celle des poissons sauvages. Cette valeur adaptative réduite peut être le résultat des différences phénotypiques (taille, taux de croissance et taux de maturation) et d'une plus faible valeur adaptative en mer des descendants héritée des parents. Certains de ces effets peuvent se manifester dans la première génération et pendant plusieurs générations suivant la remise en liberté des adultes.
- Il devrait se produire un mélange génétique en raison du croisement entre des poissons élevés en captivité (ESA) puis remis en liberté et des poissons sauvages. Tant qu'il y a un certain risque que l'ESA entraîne des changements phénotypiques et génétiques qui

réduisent la valeur adaptative des descendants en milieu naturel, il y a un risque que les descendants issus de ce mélange génétique aient une valeur adaptative réduite en milieu naturel.

- Les risques pour l'abondance des populations de saumon sauvage et leurs caractéristiques seront généralement plus élevés quand : (i) l'ESA entraîne des réductions de la valeur adaptative des descendants par rapport aux poissons sauvages; (ii) l'ESA est pratiqué de façon continue sur plusieurs générations successives; et (iii) les saumons remis en liberté dans le cadre de l'ESA représentent une proportion croissante du nombre total d'adultes dans la population au moment du frai.
- Les populations des rivières dans lesquelles il y a une structure de sous-bassin avec une adaptation locale au niveau de l'affluent sont plus susceptibles de subir les effets négatifs de l'ESA pratiqué à l'échelle du bassin, à moins qu'on ne procède à la collecte et à la remise en liberté des adultes pour chaque affluent.
- Dans les limites, au fur et à mesure que l'échelle de l'activité d'ESA augmente, l'étendue des avantages potentiels augmente elle aussi, tout comme la capacité de surveillance et l'efficacité d'évaluation, notamment en raison du nombre accru d'animaux, mais les risques généraux pour les populations de saumons sauvages sont plus importants. L'échelle des dimensions est spatiale (taille du bassin), démographique (nombre d'animaux surveillés) et temporelle (saisons et années), et ces caractéristiques doivent être prises en considération dans toutes les décisions concernant les activités d'ESA proposées.
- Compte tenu de la grande incertitude concernant les avantages et les risques des activités d'ESA pour la valeur adaptative du saumon sauvage de l'Atlantique, ces activités doivent être réalisées à une échelle géographique et démographique qui offre une capacité de surveillance et d'évaluation suffisante pour combler le gros manque de connaissances relativement aux avantages et aux risques de ces activités pour la productivité et la persistance de la population de saumon sauvage.
- Les capacités de surveillance et d'évaluation s'appuyant sur des outils génomiques s'améliorent rapidement. La mise au point de nouveaux marqueurs génétiques et de technologies à haut débit permettra d'accroître la capacité d'évaluer les liens de parenté des descendants et de déterminer la valeur adaptative relative ainsi que les apports aux générations futures de saumons sauvages, de saumons issus de l'ESA et de saumons issus d'un croisement de ces deux derniers.

INTRODUCTION

L'objectif de la plupart des programmes d'ensemencement avec du saumon de l'Atlantique a toujours été d'accroître l'abondance des adultes afin de soutenir les pêches ou d'atténuer les impacts d'origine anthropique en eau douce. Ces programmes impliquent souvent la capture de saumons adultes en montaison, le frai artificiel en captivité et la remise en liberté de juvéniles à différents stades biologiques dans l'habitat riverain d'origine (figure 2). Le choix du stade biologique pour la remise en liberté, dans le but d'accroître la production de saumons juvéniles et, finalement, les montaisons de saumons adultes, peut dépendre du stade du cycle biologique qui limite l'abondance des adultes :

- Si le taux de succès du frai, le taux de survie des œufs dans la frayère ou même le taux de survie aux stades précoces en eau douce est faible, le frai artificiel et l'utilisation de boîtes d'incubation ou encore l'empoissonnement d'alevins vésiculés ou d'alevins en sevrage

constituent une mesure raisonnable pour stimuler la production de juvéniles et les montaisons d'adultes.

- Si la dépendance à la densité en eau douce survient tôt, par exemple entre le stade de l'œuf et celui de l'alevin, l'ensemencement artificiel avec des poissons aux stades post-alevin – alors que l'abondance aux stades plus avancés semble indépendante de la densité – pourrait accroître la production totale de saumoneaux et les montaisons d'adultes.
- Si le milieu d'élevage en eau douce a atteint sa capacité biotique ou s'il y a d'importants facteurs de mortalité d'origine anthropique pendant la dévalaison des saumoneaux, l'ensemencement artificiel avec des saumoneaux pourrait être envisagé afin d'accroître les montaisons d'adultes.
- La translocation d'adultes sauvages provenant d'autres affluents de la même rivière ou de rivières avoisinantes a également été utilisée pour lancer la production de juvéniles dans l'habitat réhabilité ou lorsqu'un habitat autrefois inaccessible a été ouvert aux fins de production. À condition que le retrait d'adultes de la rivière donatrice suscite peu de préoccupations, cette mesure serait préférable à l'utilisation d'adultes élevés en captivité pendant la totalité ou une partie de leur cycle de vie.

La majeure partie des études scientifiques et de la documentation concernant les effets de l'élevage en captivité et de l'ensemencement avec du saumon de l'Atlantique ont porté sur les répercussions du frai dans les écloseries et sur les répercussions de l'ensemencement du repeuplement à divers stades juvéniles (des œufs embryonnés au stade de saumoneau). Cela dit, certaines recherches ont été menées sur les salmonidés du Pacifique (Fraser 2008). Les auteurs des études précédentes et des travaux empiriques concernant les risques génétiques et les avantages démographiques de l'élevage en captivité ont laissé entendre systématiquement que les risques pour les populations sauvages pourraient être réduits considérablement par, entre autres :

- la réduction du temps passé en captivité par une génération unique;
- la réduction du nombre de générations passées en captivité;
- la réduction au minimum des différences environnementales entre les milieux sauvages et de captivité, dans le but de limiter le plus possible les différences phénotypiques entre les saumons sauvages et ceux élevés en captivité;
- la restriction de l'élevage en captivité aux stades du cycle biologique auxquels la mortalité naturelle et, par conséquent, les pressions exercées par la sélection dans le milieu naturel, sont les plus faibles;
- le libre choix du partenaire lorsque le risque d'élevage en consanguinité est faible.

Plus récemment, une autre intervention a gagné en faveur dans certains cercles; les saumons juvéniles ou les saumoneaux en migration sont capturés, élevés en captivité jusqu'à maturité, puis remis en liberté dans la rivière, habituellement directement en eau douce, en vue du frai (ESA) (figure 2). Puisqu'il s'agit d'un nouveau procédé, il existe très peu de données empiriques qui décrivent adéquatement les risques et les avantages des programmes d'ESA pour les populations sauvages de saumon de l'Atlantique.

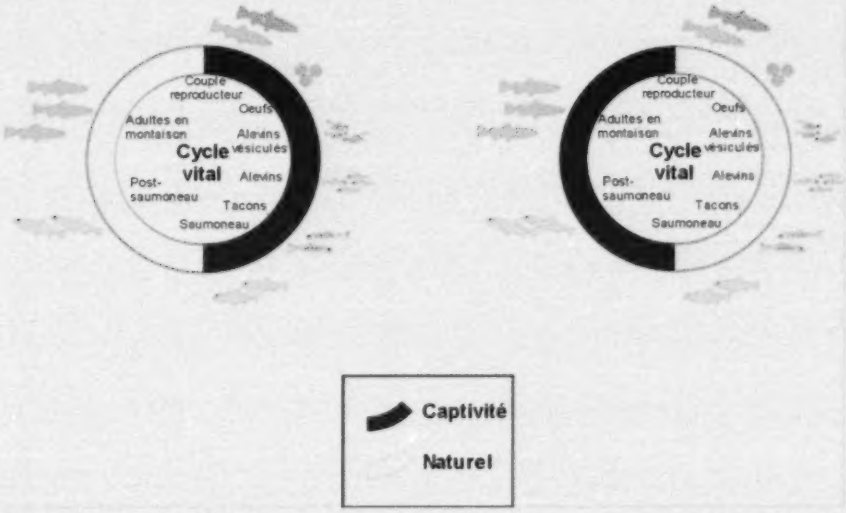

Figure 2. Contrastes entre les programmes d'ensemencement avec des saumons juvéniles (graphique de gauche) et les programmes d'ESA (graphique de droite) en ce qui concerne les stades biologiques et les processus qui sont touchés par l'élevage en captivité et ceux qui sont présents dans le milieu naturel (figure fournie par P. O'Reilly, MPO).

Les activités d'ESA peuvent être avantageuses lorsque la transition de la migration des saumoneaux à la montaison des adultes est touchée par des niveaux de mortalité qui sont suffisamment excessifs pour réduire les montaisons d'adultes, au point où la production de juvéniles en eau douce diminue à un niveau nettement inférieur à la capacité biotique. En pareil cas, les activités d'ensemencement avec des adultes élevés en captivité, qui permettent de contourner la phase marine, pourraient maintenir les échappées d'adultes et augmenter naturellement les niveaux de production de juvéniles de manière à éviter que la population n'entre dans une spirale de disparition.

Compte tenu des considérations générales ci-dessus concernant les activités d'ensemencement avec des saumons juvéniles, et dans les cas où le taux de survie en mer de la stratégie anadrome est faible, l'interception de saumoneaux sauvages, leur élevage en captivité jusqu'au stade adulte, et la remise en liberté subséquente des poissons adultes élevés en captivité dans la rivière d'origine pour compléter le cycle de vie, est une solution attrayante. Un tel programme permettrait de respecter plusieurs des considérations précédentes qui visent à réduire les risques pour les populations sauvages, étant donné que :

- l'ESA utiliserait des poissons locaux;
- l'ESA permettrait d'éviter l'élevage en captivité pendant les premiers stades biologiques auxquels on associe une mortalité élevée et généralement dépendante de la densité;
- l'ESA pourrait en théorie réduire au minimum certaines différences environnementales entre les milieux sauvages et de captivité si les conditions d'élevage reproduisaient celles rencontrées par les saumons anadromes;
- l'ESA favoriserait la compétition entre les mâles ainsi que le choix d'un partenaire par la femelle dans le milieu naturel, sans compter les possibles avantages de la sélection sexuelle connexe, notamment en ce qui concerne les caractéristiques de reproduction;

- l'ESA pourrait fournir une contribution mesurable et prévisible à la taille de la population adulte lorsque la nature a déjà joué un rôle dans le processus de sélection tout au long des premières années de vie en eau douce.

Dans les cas extrêmes où les taux de survie en mer sont pratiquement nuls, et où les autres cycles biologiques (non anadromes) ne peuvent pas sauvegarder, du point de vue démographique, une population en déclin, le recours à des banques de gènes vivants (BGV), plutôt qu'aux processus naturels d'accouplement associés à l'ESA, pourrait être le seul moyen efficace de préserver la diversité génétique (MPO 2008).

Comme toutes les formes d'ensemencement impliquant un élevage en captivité, l'ESA n'est pas sans risques. Le présent avis scientifique et les documents à l'appui tiennent compte des cinq principaux enjeux liés à l'ESA du saumon de l'Atlantique :

1. les risques génétiques de l'ESA pour la valeur adaptative à court et à long terme;
2. les risques écologiques de l'ESA;
3. les critères et les paramètres pour l'évaluation des risques de l'ESA;
4. les conditions dans lesquelles l'ESA pourrait être considéré comme un risque négligeable pour la valeur adaptative du saumon de l'Atlantique sauvage;
5. une évaluation précise des risques pour le saumon sauvage d'une activité d'ESA proposée sur la rivière Miramichi (Nouveau-Brunswick, Canada).

ÉVALUATION

La majeure partie des programmes d'ESA créés jusqu'à ce jour ont été lancés dans des régions où les populations de saumon sont à risque élevé de disparition en raison du très faible nombre de saumons adultes sur le plan démographique, exposant ainsi la population à des conséquences génétiques négatives. Seule l'expérience menée dans la rivière Conne (Terre-Neuve-et-Labrador) (Dempson et al. 1999) a été réalisée afin de compenser la baisse d'abondance continue du saumon pour une population qui n'est pas considérée comme étant à risque de disparition. Le recours accru à l'ESA dans les mesures de rétablissement des populations de saumon de l'Atlantique en voie de disparition de l'intérieur de la baie de Fundy et de l'extérieur de la baie de Fundy ainsi que la mise en œuvre des programmes de surveillance connexes fournissent des données empiriques permettant d'évaluer les avantages de ces mesures de rétablissement ainsi que des renseignements sur les risques imprévus pour la valeur adaptative des populations de saumon sauvage de l'Atlantique (MPO 2008; Jones et al. 2014).

Évaluation des risques des activités d'ensemencement pour la valeur adaptative du saumon sauvage de l'Atlantique

Dans le contexte de la présente évaluation, on entend par « valeur adaptative » la capacité des individus au sein d'une population à survivre et à se reproduire avec succès. La valeur adaptative dépend de l'environnement dans lequel l'organisme vit. Elle est le plus souvent définie, en termes relatifs, comme étant le nombre de survivants qui sont produits par certains groupes d'individus, comme les parents en milieu sauvage par opposition aux parents issus de l'ESA.

La mesure dans laquelle la valeur adaptative moyenne à court terme (première génération) et à long terme (générations successives) au sein d'une population est touchée dépendra d'un certain nombre de facteurs, notamment : la pratique continue ou intermittente de l'ESA, la

proportion d'individus de la population issus de l'ESA, les conditions environnementales dans lesquelles les saumons destinés à l'ESA sont élevés et, plus précisément, la mesure dans laquelle ces conditions diffèrent de celles auxquelles une population sauvage est habituellement exposée (Fraser 2016).

La mesure dans laquelle les réductions de la valeur adaptative sont irréversibles à long terme est en grande partie une question ouverte; toutefois, indirectement, l'établissement de populations ensauvagées de salmonidés provenant de souches d'écloserie domestiquées porte à croire que des modifications génétiques inadaptées attribuables à l'exposition à l'élevage en captivité peuvent être surmontées dans certaines situations.

Changements génétiques adaptatifs

Des changements génétiques adaptatifs peuvent survenir rapidement en captivité, même en une génération. En raison des conditions environnementales et des pressions sélectives qui diffèrent invariablement entre les milieux naturels et de captivité, le milieu de captivité pourrait provoquer des modifications génétiques et esthétiques des phénotypes, ce qui entraînerait une diminution de la valeur adaptative des individus élevés en captivité lorsqu'ils sont remis en liberté dans le milieu naturel. Ces changements attribuables aux pressions sélectives et environnementales peuvent toucher tous les aspects des phénotypes, y compris la morphologie, le cycle biologique, le comportement, la physiologie et la résistance aux maladies.

Une expérience impliquant l'élevage en cages marines de saumoneaux sauvages du saumon de l'Atlantique dans la rivière Conne (Terre-Neuve), Dempson et al. (1999) a permis de conclure que les saumons unibermarins (UBM) élevés en cage, lesquels provenaient de la même classe de saumoneaux que les saumons sauvages UBM anadromes du saumon de l'Atlantique qui remontent la rivière Conne, étaient nettement plus petits en longueur (~46 cm par rapport à 51,8 cm) et en poids (~1,2 kg par rapport à 1,54 kg).

Dans la rivière Saint John (Nouveau-Brunswick), les saumons femelles élevés en captivité étaient invariablement plus courts après un an d'élevage en captivité en eau douce que tous les saumons anadromes femelles. Après deux ans d'élevage en eau douce, ils étaient à peu près de la même longueur que les poissons sauvages unibermarins anadromes vierges, et, après trois ans d'élevage en eau douce, ils avaient atteint une taille intermédiaire entre celle des saumons sauvages anadromes unibermarins (UBM) et pluribermarins (PBM) sauvages (principalement dibermarins [DBM]), à l'exception de quelques années où ils étaient aussi longs que les saumons sauvages PBM (figure 3). Les différences dans la taille sont dues principalement à l'exclusion de la phase marine plutôt qu'au fait d'avoir passé une partie de leur cycle de vie dans l'écloserie, car la stratégie anadrome a produit des adultes en montaison de taille identique à celle des individus vierges qui ont passé l'hiver en mer, tant pour les saumoneaux sauvages que pour les saumoneaux issus de l'ensemencement en écloserie à des stades de développement juvénile.

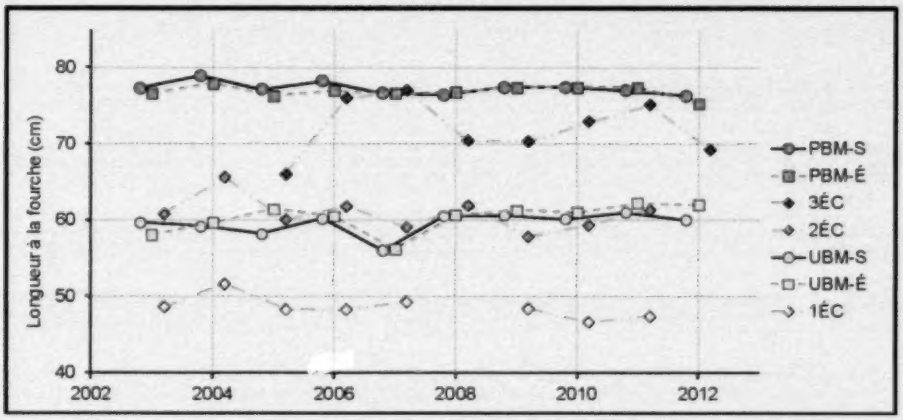

Figure 3. Longueur à la fourche (cm; moyenne) des saumons de l'Atlantique femelles provenant du programme d'élevage en captivité (ÉC) en eau douce par année passée dans l'écloserie (1ÉC, 2ÉC, 3ÉC) et des saumons anadromes par année passée en mer provenant d'un milieu sauvage (UBM-S, PBM-S) ou d'une écloserie (UBM-É, PBM-É) de la rivière Saint John (Nouveau-Brunswick.), pour la période de 2003 à 2012 (Jones et al. 2014). Les points sont décalés par rapport à l'année par souci de clarté.

L'adaptation génétique à la captivité peut avoir une incidence sur la valeur adaptative

En captivité, des changements génétiques inadaptés (désignés collectivement par le terme « sélection de domestication »; Waples 1999) peuvent se produire par deux mécanismes principaux : (i) par sélection involontaire ou (ii) par assouplissement de la sélection naturelle (Fraser 2016). La sélection involontaire peut se produire dès le premier stade de l'ESA pendant les collectes de saumoneaux si ces collectes ne reflètent pas tout le spectre des périodes de migration des saumoneaux, de leurs tailles ou d'autres caractéristiques. Cette sélection surviendra si des mortalités massives non aléatoires se produisent pendant l'élevage en captivité ou par l'intermédiaire d'effets de report.

D'après l'expérience d'élevage en cage marine dans la rivière Conne (Terre-Neuve-et-Labrador), Dempson et al. (1999), les taux de mortalité des saumoneaux ont augmenté après le transfert et atteint un sommet en juillet, les saumoneaux morts étant de taille plus petite que la moyenne des saumoneaux sauvages qui ont émigré de la rivière. Les saumoneaux morts échantillonnés en juillet avaient perdu beaucoup de poids et ne semblaient pas s'être alimentés, présentant des caractéristiques du syndrome de faiblesse du saumoneau (Dempson *et al.* 1999).

Il y a des différences importantes dans la proportion de femelles dans les groupes d'âge composés de poissons élevés en captivité issus de l'ESA et par rapport aux cycles biologiques du saumon anadrome du fleuve Saint-Jean (Jones et al. 2014). Le cycle biologique anadrome produit des différences nettes et temporellement constantes dans le sex-ratio en mer en fonction de l'âge du retour, les femelles représentant généralement moins de 10 % du groupe de saumons UBM vierges et, en général, plus de 80 % du groupe de saumons PBM (figure 4). Pour les saumons élevés en captivité, les femelles représentent au moins 40 % des adultes matures après avoir passé un an en captivité. Dans le cas des adultes matures ayant passé deux ans et trois ans en captivité (figure 4), les femelles représentent de 60 % à 90 % (ou plus) des adultes matures. Les saumons juvéniles qui ont contribué aux programmes d'élevage en captivité pour ces années étaient des pré-saumoneaux et des tacons prélevés à l'automne ainsi que des saumoneaux prélevés au printemps (Jones *et al.* 2014). L'échantillonnage des

saumons juvéniles prélevés indique que les pré-saumoneaux étaient principalement des femelles (80 %), tandis que les tacons étaient principalement des mâles précoces. Cela pourrait suffire pour expliquer la proportion élevée de femelles parmi les adultes élevés en captivité. Les différences dans le sex-ratio des adultes élevés en captivité, comparativement aux adultes anadromes, sont un exemple de sélection involontaire.

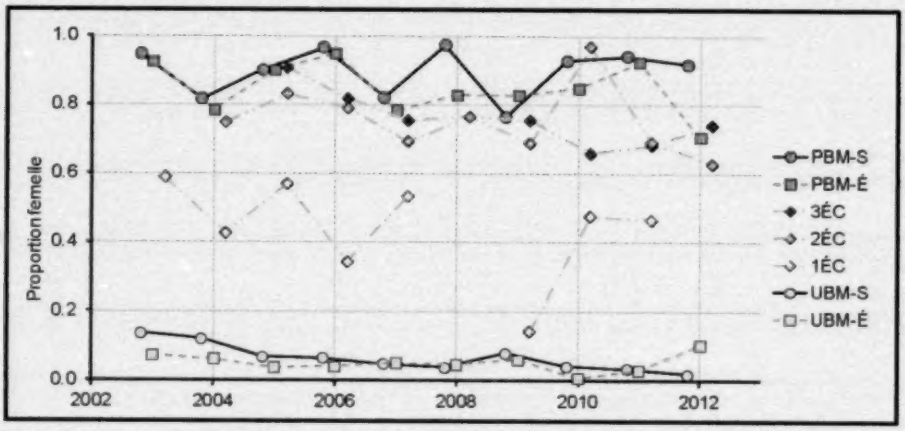

Figure 4. Proportion de saumons de l'Atlantique femelles provenant du programme d'élevage en captivité (ÉC) en eau douce par année passée dans l'écloserie (1ÉC, 2ÉC, 3ÉC) et des saumons anadromes par année passée en mer provenant d'un milieu sauvage (UBM-S, PBM-S) ou d'une écloserie (UBM-É, PBM-É) de la rivière Saint John (Nouveau-Brunswick.), pour la période de 2003 à 2012 (Jones et al. *2014). Les points sont décalés par rapport à l'année par souci de clarté.*

Les conséquences de ce phénomène sont apparentes lorsque l'on compare la proportion d'une classe de saumoneaux qui remontent en tant que femelles par rapport à tous les groupes d'âge de poissons anadromes ou élevés en captivité (figure 5). Le programme d'élevage de poissons en captivité a produit surtout (> 60 %) des femelles pour chacune des classes de saumoneaux prélevés tandis que la stratégie anadrome, qui repose sur des poissons sauvages ou issus d'une écloserie, a produit plus de mâles (55 % à 85 % de mâles) par classe de saumoneaux (figure 5).

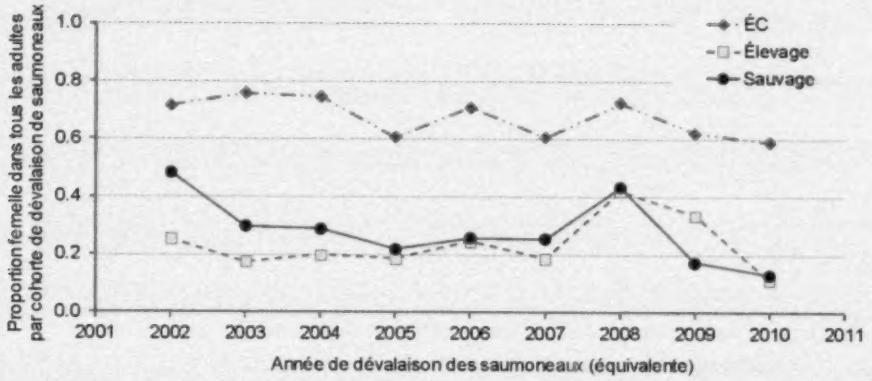

Figure 5. La proportion de femelles par rapport au nombre total d'adultes provenant du programme d'élevage en captivité (ÉC) en eau douce et de la stratégie anadrome fondée sur des saumons de l'Atlantique sauvages et issus d'une écloserie, par classe de saumoneaux, dans la rivière Saint John (Nouveau-Brunswick). Les données sont basées sur le total des montaisons répertoriées de saumons sauvages et de saumons issus d'écloseries (Jones et al. 2014; tableau 3), jumelées aux caractéristiques

du cycle biologique par origine et groupes d'âge (Jones et al. 2014; tableaux 7a, 7b, 7c). Dans le cas du programme d'élevage de saumons en captivité, l'année de migration des saumoneaux fait référence à l'année où les juvéniles prélevés seraient devenus des saumoneaux.

Assouplissement de la sélection naturelle

La mortalité en mer est considérée comme la plus grande menace au rétablissement des populations de saumon à risque de disparition et, dans certaines de ces situations, l'ESA et d'autres interventions (comme les banques de gènes vivants) sont utilisés afin de prévenir la disparition de l'espèce, de réduire au minimum la perte de diversité génétique et de maintenir les populations de saumon de l'Atlantique jusqu'à ce que les conditions, principalement en milieu marin, deviennent favorables (MPO 2008).

Bien que sur le plan démographique, l'ESA évite l'élevage en captivité de poissons aux premiers stades biologiques qui connaissent une mortalité élevée en eau douce dans le milieu naturel (taux de mortalité cumulatif de l'œuf au saumoneau de 96,8 à 99,8 %), la mortalité des saumoneaux en mer jusqu'à l'adulte est encore très élevée pour le saumon de l'Atlantique sauvage, atteignant couramment 98,5 % ou plus au cours des dernières années.

Comme la mortalité des saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte sera nettement inférieure si on utilise l'ESA, comparativement à ce qui se produit en milieu naturel, un assouplissement des pressions exercées par la sélection naturelle est probable. D'après les données empiriques provenant d'études connexes, cet assouplissement des pressions exercées par la sélection naturelle serait associé à des facteurs comme la prédation pendant la phase en mer, la résistance aux parasites et aux agents pathogènes en mer si l'élevage se fait en eau douce ou en eau salée ou dans des parcs à filet en mer, étant donné que tous ces milieux seront très différents des conditions marines que connaissent les migrateurs anadromes. Les populations sauvages faisant l'objet d'un ESA pourraient également connaître un assouplissement de la sélection relativement aux caractéristiques associées aux interactions sociales (élevage en fortes densités, rassemblement en bancs, agressivité), à la vigueur de la migration (du fait de se trouver dans des environnements d'élevage), au niveau d'activité (nage, orientation, alimentation) et au retour, en particulier pour les populations effectuant des migrations sur de plus longues distances.

Les populations de saumon de l'Atlantique affichent un degré considérablement élevé d'adaptation locale en eau douce à différentes échelles géographiques. Bien que l'on connaisse mal l'adaptation locale pendant la phase marine du cycle biologique des salmonidés anadromes, on croit qu'ils s'adaptent aux différents secteurs marins. Des études sur le saumon de l'Atlantique et le saumon du Pacifique indiquent des taux de montaison dans les rivières communes sont plus faibles pour les saumoneaux d'écloserie provenant de stocks lointains que pour ceux provenant de stocks locaux. Plus important encore, des adaptations locales en eau douce sont intrinsèquement liées à la phase marine des salmonidés anadromes (Fraser *et al.* 2011). Il n'est pas déraisonnable de supposer que, tous les autres facteurs étant égaux, plus une population de saumon de l'Atlantique sauvage est adaptée localement à la phase marine du cycle de vie ou encore à la phase de transition de l'eau douce à l'eau de mer, plus il est probable que l'ESA entraînera des changements phénotypiques et génétiques inadaptés qui auront une incidence sur la valeur adaptative en milieu naturel.

Par exemple, il est probable que certaines des trajectoires de croissance, de maturation et de morphologie, toutes les caractéristiques comportementales corrélées (p. ex. audace, agressivité), les attributs reproductifs femelles (taille des œufs, fécondité), les traits comportementaux associés au fait de vivre à des densités plus élevées (réactions au stress) et la résistance aux agents pathogènes, changeront dans le cadre d'un élevage en captivité

d'ESA, qu'il s'agisse de saumons élevés en milieu marin ou en eau douce, et ces changements pourraient avoir une incidence sur le succès de la reproduction ou la survie des descendants dans le milieu naturel (Fleming *et al.* 1997; Jonsson et Jonsson 2006; Lawlor *et al.* 2009).

Croisement entre les saumons sauvages et ceux issus de l'ESA

Un autre risque génétique lié à l'ESA est le croisement des poissons élevés en captivité et remis en liberté avec des poissons sauvages. Tant qu'il y a un risque que l'ESA entraîne des changements phénotypiques et génétiques attribuables à la sélection de domestication qui réduit la valeur adaptative des descendants dans le milieu naturel, il y a risque que les descendants résultant du croisement entre des poissons issus de l'ESA et des poissons sauvages aient une valeur adaptative moindre en milieu naturel (Fraser 2016). La mesure dans laquelle le croisement aura lieu et générera des changements inadaptés dépendra de nombreux facteurs, notamment si les risques génétiques et « esthétiques » découlant de l'élevage en captivité sont réduits au minimum, et si la proportion de poissons issus de l'ESA par rapport à l'abondance totale des adultes (ESA + sauvage) est faible (Hutchings et Fraser 2008). Il est peu probable que l'élevage des poissons issus de l'ESA produise des saumons si différents de leurs congénères sauvages qu'aucun croisement entre les poissons élevés en captivité et les poissons sauvages ne puisse avoir lieu, mais si cela était possible, une telle stratégie pourrait offrir des possibilités de pêche sans nécessairement avoir une incidence sur l'intégrité génétique de la population sauvage.

Changements autres que génétiques et effets de report

L'élevage en captivité peut aussi avoir des effets de report sur la valeur adaptative en milieu naturel. Chez les salmonidés, l'approvisionnement maternel des descendants est fortement influencé par les conditions environnementales dans lesquelles se trouvent les femelles (température, densité, nutrition) et ces effets peuvent également avoir une composante génétique qui influe sur la croissance et la survie des descendants juvéniles.

On a également émis l'hypothèse selon laquelle les milieux d'élevage en captivité génèrent des changements épigénétiques héréditaires qui peuvent eux aussi avoir une incidence sur la valeur adaptative des descendants de saumons d'écloserie en milieu naturel (O'Reilly et Doyle 2007; Araki *et al.* 2008). Il ne s'agit pas d'un phénomène bien étudié chez les salmonidés, et, quand ils sont examinés, les effets ne sont pas toujours manifestes. Des études récentes ont révélé un lien entre la variation épigénétique et une divergence dans le cycle biologique, ce qui porte à croire que des changements épigénétiques pourraient survenir si l'élevage en captivité suscite des changements dans le cycle biologique.

Considérations écologiques des interactions du poisson sauvage et du poisson d'élevage, y compris les maladies, la concurrence, la prédation et l'adaptation à la mortalité

L'ESA pourrait avoir une incidence sur la valeur adaptative de reproduction des adultes remis en liberté (Fraser 2016). Les mâles élevés en captivité sont généralement inférieurs aux mâles sauvages à plusieurs égards, notamment la parade nuptiale, la concurrence pour les femelles et le frai. De plus, les femelles élevées en captivité peuvent être plus susceptibles de conserver leurs œufs et moins susceptibles de construire ou de couvrir les nids. Selon le programme d'élevage dont ils sont issus et malgré leur succès reproducteur réduit, les adultes élevés en captivité peuvent être considérablement plus nombreux que les adultes sauvages, ce qui permet de produire un nombre important de juvéniles (Jones *et al.* 2014). Lorsque les caractéristiques des poissons élevés en captivité diffèrent grandement de celles des poissons sauvages (p. ex. taille, comportement, agressivité) et que des mécanismes de dépendance à la

densité sont en jeu, les poissons élevés en captivité pourraient déplacer les poissons sauvages dans une certaine mesure, contribuant ainsi à l'appauvrissement des populations sauvages en raison de la concurrence pour l'espace et de la perturbation des possibilités de reproduction (Jonsson et Jonsson 2006).

Comme les poissons élevés en captivité sont élevés à des densités plus élevées que dans la nature, ils sont souvent vulnérables à une exposition accrue aux agents pathogènes et aux parasites et peuvent subir des modifications génétiques associées à divers régimes ou à diverses charges d'agents pathogènes ou de parasites. Par conséquent, les poissons élevés en captivité pourraient agir comme vecteurs de maladie chez les poissons sauvages et pourraient également contribuer à l'appauvrissement des populations sauvages.

Dans certaines situations, l'état de maturité des poissons issus de l'ESA ne peut être déterminé qu'à la fin de l'année (à l'automne), et selon la date et l'endroit où ils sont remis en liberté, les poissons issus de l'ESA pourraient ne pas avoir accès aux zones d'où ils provenaient en tant que juvéniles. Si les poissons issus de l'ESA entreprennent un frai plus précoce, les descendants peuvent émerger plus tôt. Cela pourrait leur donner un avantage de survie ou de croissance à court terme en leur permettant d'occuper les meilleurs territoires d'alimentation pendant les premiers stades de vie avant l'arrivée des descendants de poissons sauvages dont le frai survient plus tard. Par ailleurs, l'émergence précoce pourrait entraîner un taux de mortalité plus élevé si l'alimentation exogène ne commence pas avant l'épuisement des nutriments de la vésicule vitelline. Le frai plus tardif des adultes élevés en captivité risque de perturber les frayères de poissons sauvages et, finalement, de réduire le taux de survie des poissons sauvages.

Les populations de saumon de l'Atlantique sont régies principalement par la mortalité dépendante de la densité au stade biologique de juvéniles en eau douce (Chaput *et al.* 2016). Si la dynamique de recrutement des juvéniles en eau douce est fortement compensatoire, le gain prévu de production de saumoneaux et de montaisons subséquentes d'adultes, lequel est attribuable à l'ensemencement de l'échappée de géniteurs avec des adultes reproducteurs élevés en captivité, dépendra de l'abondance des juvéniles dans la rivière avant l'ensemencement. De plus, en raison des forts taux de survie dépendante de la densité, l'ajout d'un grand nombre des descendants adultes élevés en captivité dans la rivière pourrait se traduire par une hausse de la mortalité dépendante de la densité chez les descendants de reproducteurs sauvages. Bien que, d'un point de vue numérique, l'abondance des juvéniles semble avoir profité de cette mesure dans l'ensemble, une diminution de la valeur adaptative des descendants élevés en captivité, qui résulterait des différences phénotypiques (taille, taux de croissance, taux de maturation), et une diminution de la valeur adaptative de survie en mer, qui serait héritée des parents par les juvéniles provenant du croisement de saumons sauvages et de saumons issus de l'ESA, se traduiront par une diminution de l'abondance du saumon sauvage de l'Atlantique.

Critères et paramètres pour l'évaluation des risques du programme d'ensemencement avec du saumon adulte élevé en captivité

Les critères et les paramètres pour l'évaluation des risques génétiques et écologiques de l'ESA dépendent de deux contextes : (i) la mesure dans laquelle les poissons élevés en captivité pourraient s'écarter des phénotypes sauvages (ou des génotypes sous-jacents); et (ii) la proportion de poissons issus de l'ESA par rapport à la taille de la population totale dans le cas d'une population sauvage ayant fait l'objet d'un ensemencement (Fraser 2016). Le premier contexte tient compte de l'ampleur d'une mauvaise adaptation qui pourrait résulter de l'ESA chez une espèce dont la biologie générale est fondée sur l'adaptation locale des

caractéristiques phénotypiques (annexe 3). Le deuxième contexte tient compte de la façon dont l'ampleur des effets d'une mauvaise adaptation attribuable à l'ESA pourrait avoir une incidence sur la persistance et la productivité de la population de saumon sauvage (annexe 3). Les critères, les paramètres, les considérations génétiques et écologiques, le poids de la preuve et le risque évalué pour la valeur adaptative à long terme sont résumés dans les annexes 2 et 3.

Conditions dans lesquelles les programmes d'ensemencement avec du saumon adulte élevé en captivité seraient considérés comme présentant un risque négligeable pour la valeur adaptative du saumon sauvage de l'Atlantique

Pour les besoins de la présente analyse, un risque négligeable est défini comme un effet sur la productivité de la population sauvage qui peut être atténué par la population sauvage à l'intérieur d'une génération une fois que l'effet se dissipe. La durée d'une génération pour le saumon de l'Atlantique est relativement courte, de l'ordre de 5 à 6 ans pour la plupart des populations.

Un certain nombre de facteurs doivent être pris en considération dans l'évaluation des risques pour la valeur adaptative, notamment : l'héritabilité de caractéristiques qui ont une incidence sur la valeur adaptative (taux de croissance, âge à la maturité, cycle de montaison, résistance aux maladies et aux agents pathogènes), l'importance de la perte de valeur adaptative associée à la captivité ainsi qu'à l'hybridité, et les proportions de reproducteurs élevés en captivité par rapport à tous les reproducteurs (Fraser 2016). Étant donné que l'ESA est une activité récente, il y a moins de preuves empiriques disponibles pour quantifier les risques pour la valeur adaptative à long terme chez les populations sauvages et les circonstances dans lesquelles l'ESA peut être considéré comme présentant un risque négligeable.

Chez les salmonidés, les caractéristiques phénologiques et certaines caractéristiques morphologiques qui pourraient être touchées par la stratégie d'ESA affichent une héritabilité élevée, mais bon nombre de caractéristiques physiologiques associées à la migration n'ont pas fait l'objet d'une étude approfondie chez les salmonidés. Une perte de valeur adaptative générationnelle de 30 à 60 % par génération en captivité est souvent signalée dans la littérature scientifique (Fraser 2016). Les effets de report de l'élevage en captivité en soi (p. ex. la façon dont l'effet maternel peut modifier le rendement de la descendance) et leur incidence possible sur la valeur adaptative doivent aussi être pris en considération. Enfin, l'effet du croisement entre des poissons sauvages et des poissons élevés en captivité sur les pertes générationnelles successives de valeur adaptative doit également être pris en considération, car les poissons issus de l'ESA pourraient représenter une grande proportion d'adultes reproducteurs, en particulier au sein d'une petite population ensemencée.

En ce qui a trait à la productivité de la population, l'ESA pratiqué à court terme et de façon intermittente posera moins de risques pour le saumon sauvage de l'Atlantique. Les risques pour la productivité de la population augmentent et ne pourront probablement pas être atténués par la population sauvage à l'intérieur d'une génération une fois l'intervention terminée, lorsque l'ESA :

1. entraîne des réductions plus importantes de la valeur adaptative en milieu naturel;
2. est pratiqué de façon constante pendant plusieurs générations successives;
3. représente une proportion plus grande du nombre total d'adultes (ou d'un des deux sexes) au sein de la population.

Évaluation des risques de l'activité d'ensemencement avec du saumon adulte élevé en captivité pour le saumon sauvage de l'Atlantique de la rivière Miramichi

Population de saumon de l'Atlantique de la rivière Miramichi

La population de saumon de l'Atlantique de la rivière Miramichi est caractérisée par une diversité phénotypique complexe (Chaput *et al.* 2016). Les jeunes saumons grandissent en eau douce pendant deux à cinq ans, et la plupart migrent vers la mer après deux ou trois ans. La population comporte une importante composante de reproducteurs vierges unibermarins (UBM) et pluribermarins (PBM), et les stratégies diversifiées relatives au cycle de frai incluent des contributions importantes de saumons multifrai. Pendant une année donnée, on compte six classes d'âge de poissons immatures dans les écosystèmes marins et d'eau douce combinés. Le nombre de saumons multifrai est à la hausse et récemment, jusqu'à neuf classes d'âge de saumons sont présentes dans la montaison (sans compter les tacons mâles précoces). Il existe des différences de taille importantes et constantes dans les antécédents de frai (figure 6), et les contributions de reproduction des saumons femelles sont améliorées par l'augmentation de la taille (attribuable à l'âge en mer) et par l'augmentation de la taille des œufs et de la fécondité (attribuable à la taille accrue des poissons et à l'utilisation diversifiée de l'habitat de frai).

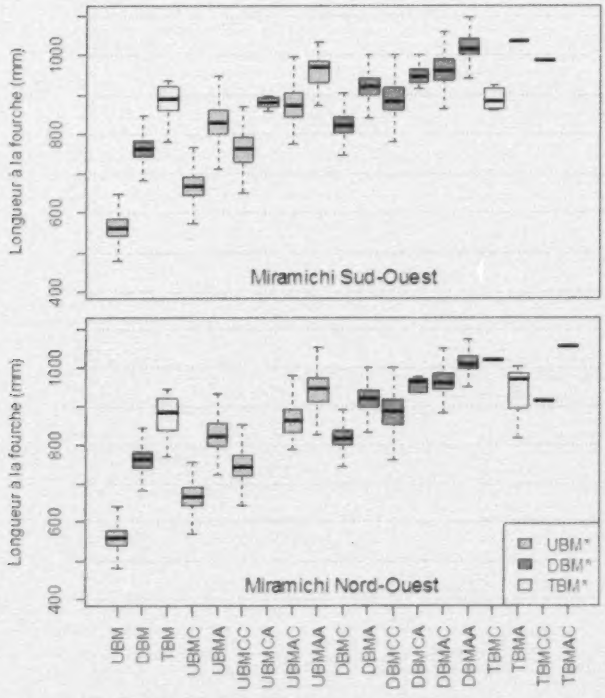

Figure 6. Les diagrammes en quartiles des répartitions de la longueur à la fourche (mm) des populations de saumon de l'Atlantique des rivières Miramichi Sud-Ouest (graphique du haut) et Miramichi Nord-Ouest (graphique du bas) par type de frai historique, pour la période de 1992 à 2013 (Chaput et al. *2016). Les étiquettes UBM, DBM et TBM sont des poissons vierges qui fraient pour la première fois. Les autres catégories sont composées de saumons multifrai, selon l'âge en mer au moment du premier frai, suivis d'une série de types de reproducteurs multifrai, où C représente les antécédents de frais consécutifs et où A représente les antécédents de frais alternants. Les lettres uniques (C et A) sont des catégories de poissons qui fraient pour une deuxième fois. CC, CA, AC et AA représentent les catégories de poissons*

ayant connu au moins trois événements de frai et dont les deux premiers cycles de frai répétés sont indiqués par les codes de lettre.

Plusieurs caractéristiques phénotypiques du saumon de l'Atlantique sont représentatifs avec une structure de la population par sous-bassins de la rivière Miramichi :

- La période de montaison annuelle des rivières est caractérisée par une répartition saisonnière bimodale, le premier mode ayant lieu en été (a ant le 31 août) et le deuxième, en automne (après le 31 août) (figure 7). Les montaisons hâtives et tardives ont changé au cours de la dernière décennie pour passer à un mode estival dominant, tant pour les grands saumons (longueur à la fourche de plus de 63 cm) que pour les petits saumons (longueur à la fourche de moins de 63 cm), et ce, dans les deux bras principaux de la rivière Miramichi (Douglas et al. 2015; figure 7).
- Les saumons dans les cours supérieurs de la rivière à des altitudes plus élevées sont principalement des poissons en montaison précoce, et les proportions de saumons effectuant une montaison tardive à chacun des sites augmentent à de plus faible élévation dans la rivière.

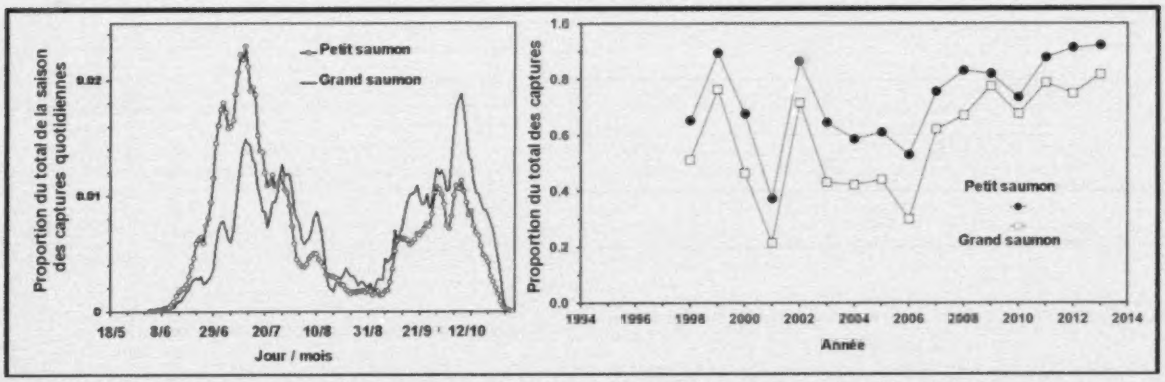

Figure 7. Le calendrier saisonnier des prises de petits et de grands saumons dans les filets-trappes placés dans l'estuaire de la rivière Miramichi Nord-Ouest (graphique de gauche) et la proportion du nombre total de prises annuelles aux filets-trappes placés dans l'estuaire de la rivière Miramichi Nord-Ouest qui ont été effectuées avant le 1er septembre pendant la période de 1998 à 2013 (graphique de droite).

Il existe d'importants biais de sex-ratio entre les groupes d'âge en mer constitués de poissons vierges, les mâles étant plus abondants parmi les saumons UBM, et les femelles, parmi les saumons DBM. Il y a d'importantes différences entre le sex-ratio parmi les saumons UBM, les proportions de femelles étant plus élevées dans les montaisons précoces comparativement aux montaisons tardives (figure 8). Il en va autrement pour les saumons DBM. Il y a une proportion plus élevée de femelles parmi les saumons UBM de la rivière Miramichi Nord-Ouest comparativement à ceux de la rivière Miramichi Sud-Ouest.

Le saumon de l'Atlantique de la rivière Miramichi, qui effectue de longues migrations océaniques, a traditionnellement fait l'objet d'une pêche commerciale marine dans le golfe du Saint-Laurent, à Terre-Neuve et du Labrador, et il fait actuellement l'objet de pêches mixtes à Saint-Pierre et Miquelon et au Groenland. Les saumoneaux et les autres saumons multifrai entreprennent des migrations sur de longues distances vers le Groenland. On trouve également certains saumons dans les environs des îles Féroé (nord-est de l'Atlantique) pendant leur deuxième hiver en mer, et ils peuvent retourner à la rivière Miramichi dans un délai de cinq mois.

L'estimation de l'abondance des adultes de tous les groupes d'âge de mer pour l'ensemble de la rivière Miramichi a varié de 17 745 à 74 940 poissons pendant la période de 1998 à 2014 (MPO 2015). Les montaisons annuelles de tous les groupes d'âge en mer de poissons anadromes dans le réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest – soit environ un tiers de l'habitat de croissance du saumon de la rivière Miramichi – variaient de 2 500 à 23 000 poissons au cours de la même période. En 2014, les montaisons de petits et de grands saumons étaient les plus faibles de la série chronologique pour la rivière Miramichi Nord-Ouest, qui remonte à 1992. Les indices de montaisons de petits saumons en 2015 indiquent une amélioration de l'abondance par rapport au niveau de 2012 à 2014, et les indices de montaison de grands saumons en 2015 se sont améliorés de façon semblable de 2012 à 2014.

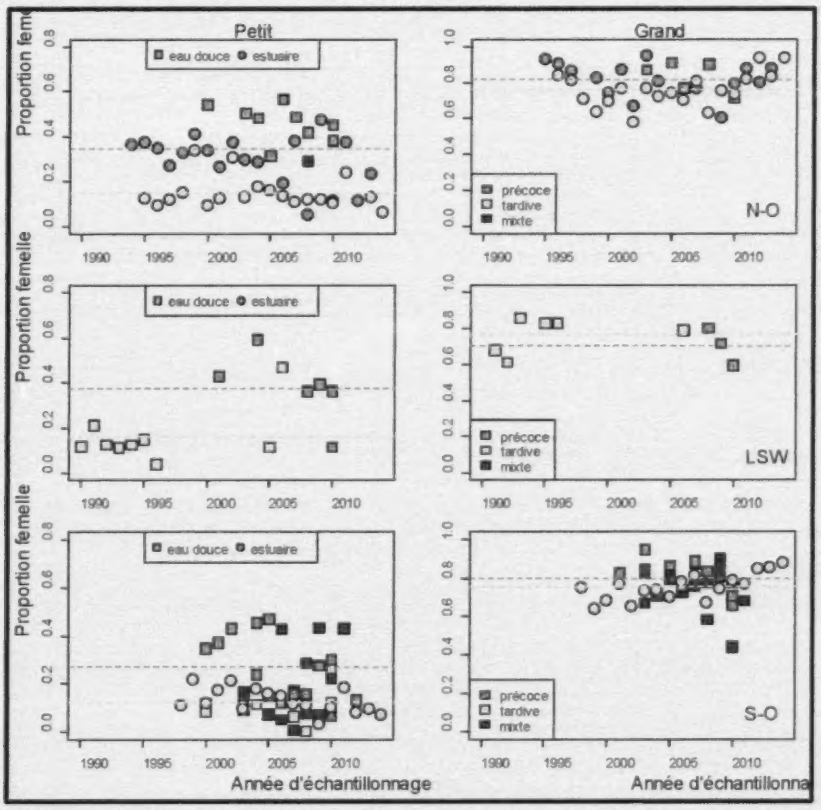

Figure 8. Proportion de femelles parmi les petits saumons (colonne de gauche), les grands saumons (colonne de droite) par saison de groupe de montaison (précoce, tardive, mixte), selon les échantillons prélevés dans les réseaux hydrographiques de la rivière Miramichi Nord-Ouest (rangée du haut), de la Little Southwest Miramichi (rangée du milieu) et de la rivière Miramichi Sud-Ouest (rangée du bas) (Chaput et al. *2016). Les symboles carrés représentent les échantillons obtenus à des emplacements en eau douce (barrières de dénombrement, senne), tandis que les cercles représentent des échantillons provenant des filets-trappes placés dans l'estuaire. Les lignes pointillées horizontales et les couleurs correspondantes représentent les moyennes des échantillons dans chaque graphique.*

L'abondance des juvéniles était faible jusqu'à la fin des années 1970, a augmenté à la suite de fermetures de pêches ciblées en 1984, a atteint un sommet à la fin des années 1990, et s'est mise à diminuer de façon générale depuis. Les tendances observées chez les petits tacons étaient semblables à celles observées chez les alevins. Les tendances relatives aux indices d'abondance des gros tacons ont augmenté pendant la période de 1971 à 2014 dans le réseau

hydrographique du Nord-Ouest et dans celui du Sud-Ouest, l'abondance des gros tacons étant plus marquée dans le Nord-Ouest comparativement au Sud-Ouest (MPO 2015; Chaput *et al.* 2016).

Les analyses des indices des stocks et du recrutement provenant des rivières Miramichi Nord-Ouest et Sud-Ouest indiquent que le plus important contrôle de la densité se produit entre le stade des œufs et celui des alevins (figure 9). Les densités d'alevins, quoique très variable d'une année à l'autre, demeurent à des niveaux modérés dans toutes les rivières malgré le déclin des pontes depuis les sommets observés au début des années 1990 (MPO 2014; Douglas *et al.* 2015; Chaput *et al.* 2016).

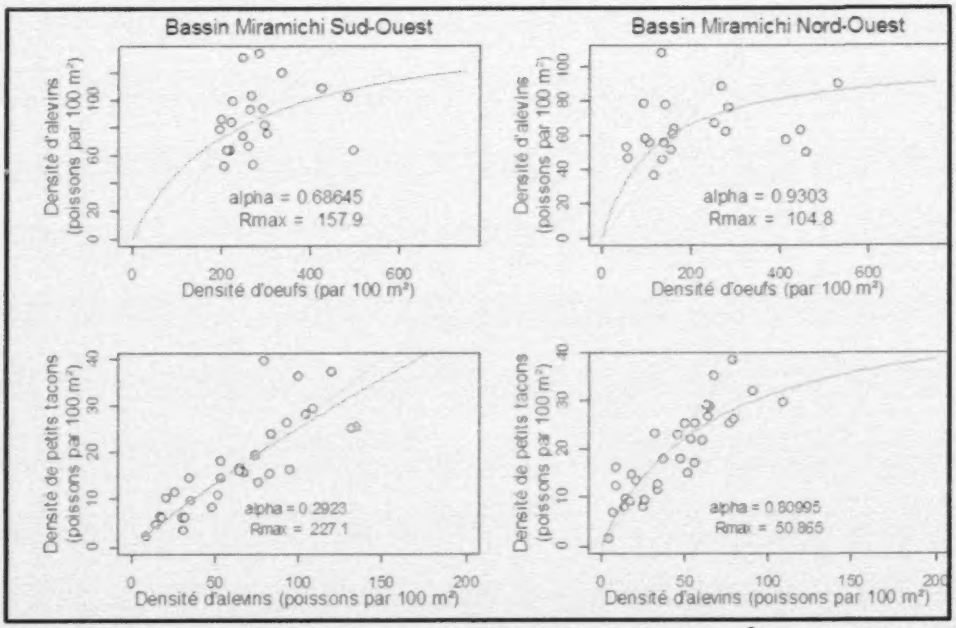

Figure 9. Analyses de stock et du recrutement selon la ponte (œufs par 100 m^2) pour l'année i par rapport à l'indice d'abondance des alevins (alevins par 100 m^2) dans l'année i+1 (rangée du haut; années de frai 1992 à 2013 avec les données disponibles) et analyse de l'indice d'abondance des alevins de l'année i par rapport à l'indice de l'abondance des petits tacons pour l'année i+1 (rangée du bas; années de frai 1971 à 2013 selon les données disponibles) pour les rivières Miramichi Sud-Ouest (colonne de gauche) et Miramichi Nord-Ouest (colonne de droite). La ligne rouge dans les graphiques du haut correspond à la courbe médiane de la relation de stock et de recrutement de forme Beverton-Holt et la ligne verte est la valeur médiane de la relation proportionnelle linéaire (avec erreur de multiplication) des mêmes données.

Évaluation des risques de l'ensemencement de la rivière Miramichi avec du saumon élevé en captivité

La proposition d'ESA faite au MPO en mai 2015 (annexe 1) consistait en une capture initiale de 1 500 saumoneaux de l'Atlantique de la rivière Miramichi Nord-Ouest en 2015, en vue d'en faire l'élevage dans des installations en eau douce et de les remettre en liberté dans la rivière Miramichi Nord-Ouest en vue du frai. Bien que cela ne soit pas mentionné dans la description du projet à l'annexe 1 (il s'agit plutôt d'une décision prise à la suite de discussions subséquentes), il a été établi, d'une part, que les adultes matures issus de ce programme seraient remis en liberté dans les eaux de marée afin de permettre aux poissons de migrer vers leur rivière d'origine et, d'autre part, que le programme pourrait être élargi dans l'avenir dans le but d'accroître la ponte par les adultes sauvages et les adultes élevés en captivité, à des

niveaux conformes aux exigences en matière de conservation pour la rivière Miramichi Nord-Ouest.

Le projet de collecte de 1 500 saumoneaux de l'Atlantique mené en 2015 dans le réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest était considéré comme présentant un risque négligeable pour la population de saumon de l'Atlantique sauvage de la rivière Miramichi Nord-Ouest, car il représentait une très petite proportion (< 1 %) de la production totale prévue de saumoneaux, laquelle avait varié de 150 000 à 750 000 selon les estimations pour la période de 1999 à 2011 (Chaput *et al.* 2016). Ce prélèvement provenant de la dévalaison de saumoneaux de 2015 représentait un très faible nombre de montaisons potentielles de saumons sauvages parmi tous les groupes d'âge en mer de poissons vierges en 2016 et 2017, selon les récents taux de montaison estimés de 1,6 % à 7,2 % (de 24 à 108 saumons sauvages adultes, respectivement).

Si les taux de survie des saumoneaux par rapport aux adultes issus de l'ESA sont semblables aux résultats obtenus par le programme d'élevage en captivité de la rivière Tobique dans la région des Maritimes du MPO (29 % à 81 %; 11 années de données; R. Jones, MPO, données inédites), les adultes issus de l'ESA qui pourraient être remis en liberté dans le réseau hydrographique de la rivière Miramichi Nord-Ouest (450 à 1 200 adultes) pourraient représenter une proportion importante (10 % à 25 %) du nombre total de reproducteurs adultes, en particulier si les montaisons d'adultes sauvages demeurent aux niveaux moyens de moins de 5 000 reproducteurs sauvages pour la période de 2012 à 2014. Ces proportions d'adultes issus de l'ESA par rapport aux montaisons d'adultes augmenteraient si le nombre de saumoneaux élevés aux fins d'ensemencement augmentait lui aussi ou si les montaisons d'adultes sauvages dans la rivière Miramichi continuaient à diminuer.

L'activité d'ESA proposée dans la rivière Miramichi Nord-Ouest soulève quatre préoccupations particulières (Fraser 2016) :

- L'activité proposée vise l'élevage de saumoneaux en eau douce jusqu'à l'âge adulte. Bien qu'il soit utilisé selon toute vraisemblance pour des raisons pratiques, l'élevage en eau douce des saumons issus de l'ESA signifie que de nombreuses caractéristiques associées à la survie du saumon dans le milieu marin (p. ex. transition physiologique vers l'eau de mer, puis retour en eau douce, précision du retour, résistance aux agents pathogènes ou aux parasites marins) peuvent être touchées. Si les poissons remis en liberté dans le cadre de l'activité d'ESA se croisent avec des saumons sauvages, et que les différences sont transmises aux descendants au moyen d'un ou de plusieurs mécanismes possibles, cela pourrait avoir un impact à long terme sur la valeur adaptative de la population.
- Il existe un degré élevé de maturation au stade PBM parmi les saumons de la rivière Miramichi. Les populations ayant de grandes composantes de saumons PBM sont plus susceptibles d'être touchées par l'ESA que les populations de saumons principalement UBM, parce que les changements génétiques et esthétiques associés à l'élevage en captivité s'accentuent avec la durée de la captivité. L'accélération de la période de maturation afin de réduire le temps d'élevage en captivité des populations de saumons PBM exacerberait probablement ces changements.
- Le réseau hydrographique de la rivière Miramichi héberge un ensemble de populations de saumons génétiquement distinctes qui présentent des adaptations locales. Ainsi, il pourrait être difficile non seulement d'éviter le mélange de ces populations lorsqu'on procède à l'ESA, mais aussi d'exercer une surveillance statistiquement efficace des descendants de poissons issus de l'ESA par rapport aux poissons sauvages dans un réseau hydrographique aussi vaste et complexe.

- Il existe des preuves provenant de la surveillance des juvéniles dans la rivière Miramichi selon lesquelles la relation entre les stocks d'œufs et le recrutement au stade d'alevins est fortement compensatoire, que l'abondance des alevins a atteint un sommet à la fin des années 1990 (selon les estimations, leurs valeurs auraient atteint la capacité de charge théorique de l'habitat échantillonné), et que les indices d'abondance des alevins ont diminué depuis, en même temps que le nombre estimé de pontes. Une augmentation des densités moyennes d'alevins par rapport aux valeurs inférieures des dernières années devrait être réalisable avec une augmentation des pontes (issues de l'ESA ou autrement), mais le phénomène se produirait concurremment à une mortalité compensatoire élevée des juvéniles de toutes origines parentales qui serait liée à une dépendance accrue à la densité. Cela est particulièrement préoccupant si les descendants de parents issus de l'ESA et les descendants résultant du croisement entre des poissons issus de l'ESA et des individus sauvages affichent une valeur adaptative moindre, en particulier pour la survie en mer, par rapport aux descendants de parents sauvages, ce qui entraînerait une stabilisation ou encore une diminution supplémentaire de la taille de la population de saumons de l'Atlantique adultes anadromes sauvages.

Surveillance et évaluation des programmes d'ESA

Presque toute l'information disponible à ce jour sur les programmes d'ESA pour le saumon de l'Atlantique a été limitée aux descriptions des migrations, aux observations sur le comportement de frai et au fait qu'une descendance soit produite ou non (Dempson *et al.* 1999; Carr *et al.* 2004; O'Reilly *et al.* 2010; Stark *et al.* 2014).

L'évaluation des risques pour la santé du saumon sauvage de l'Atlantique découlant des activités d'ESA nécessite une analyse des contributions relatives de chaque type de parent (ESA, sauvage, croisement ESA/sauvage) pour les générations futures. Il est préférable de procéder à cette évaluation en utilisant des approches d'analyse de la parenté fondées sur des marqueurs génétiques, approches dans lesquelles les échantillons prélevés de la descendance peuvent être attribués à des parents précis et, par conséquent, à un type de parent (Flanagan et al. 2006; Jones et al. 2010; Pavey 2016). Les marqueurs génétiques variables qui sont transmis de façon stable par les parents à la descendance peuvent être utilisés pour l'analyse de la parenté (Jones *et al.* 2010). En bref, comme les descendants de saumons de l'Atlantique obtiennent la moitié de leur génome de chaque parent, si un parent potentiel ne partage aucun de ses allèles avec un descendant, il peut être exclu en tant que parent possible. Si tous les parents potentiels d'intérêt ont été échantillonnés et génotypés, par exemple les adultes issus de l'ESA, il est alors possible d'exclure les adultes issus de l'ESA en tant que parents des descendants dont on a prélevé des échantillons, ou inversement, de les inclure en tant que parents des descendants si ces derniers partagent la combinaison d'allèles des parents issus de l'ESA. Grâce à ces techniques, il est possible de comparer le nombre de descendants survivants provenant d'adultes issus de l'ESA ou d'un croisement entre un adulte sauvage et un adulte issu de l'ESA avec le nombre de descendants survivants issus de parents sauvages.

L'attribution de la parenté génétique a été réalisée à l'aide de deux types de marqueurs moléculaires. Les marqueurs les plus fréquemment utilisés sont les microsatellites, c'est-à-dire des arrangements répétés en tandem composés de deux à six segments de paires de base d'ADN. Les microsatellites les plus informatifs dans le cas du saumon de l'Atlantique peuvent présenter des dizaines d'allèles différents dans une population donnée et sont très efficaces lorsqu'il s'agit d'exclure les faux parents. Le deuxième type de marqueur est un polymorphisme mononucléotide (SNP); celui-ci peut avoir jusqu'à quatre allèles par locus, mais n'a généralement que deux allèles différents par locus; toutefois, en raison des progrès

technologiques réalisés dans le séquençage, des milliers de locus SNP peuvent être analysés. De nouvelles technologies et techniques de laboratoire ont donné lieu à des techniques à haut débit pour le génotypage à l'aide des microsatellites et des SNP.

Une grande quantité de données peut être produite au moyen de ces analyses, et l'attribution de la descendance aux parents s'appuie sur des techniques statistiques avancées; heureusement, une grande partie des travaux d'analyse a été codée et mise à l'essai dans plusieurs logiciels d'analyse informatique (Pavey 2016). Chacun des logiciels a ses points forts et ses points faibles. Ils proposent tous des hypothèses et des approches analytiques différentes, d'où l'intérêt de procéder à une exploration des données avec plusieurs logiciels. De plus, il est probable que deux ou plusieurs logiciels aboutiront à des résultats semblables.

Un certain nombre de considérations analytiques et d'échantillonnage sont pertinentes dans le contexte de l'évaluation des programmes de l'ESA.

Des erreurs peuvent être commises à plusieurs étapes du processus :

- Des échantillons de tissus doivent être prélevés sur les parents potentiels et la descendance pour analyse génétique. Il y a un grand nombre de points dans ce processus qui peuvent entraîner la non-concordance des échantillons de tissus et de l'information d'échantillonnage correspondante.
- Des erreurs dans la détermination du sexe des reproducteurs pourraient survenir, en particulier dans le cas des saumons de l'Atlantique anadromes et ceux issus de l'ESA échantillonnés au début de la saison du frai. L'attribution erronée du sexe peut entraîner des attributions incompatibles de parenté de la descendance, par exemple lorsque les parents attribués sont tous deux considérés comme des femelles.
- Les erreurs dans l'attribution de la descendance à une classe d'âge donnée, qui surviendraient en raison de difficultés ou d'une interprétation erronée des âges à partir des écailles, peuvent entraîner une attribution erronée de la descendance à des parents potentiels.
- Les erreurs de génotypage ou les mutations peuvent entraîner des incompatibilités entre les descendants et les vrais parents. Les erreurs de génotypage surviennent lorsqu'un locus donné est mal interprété, n'entraîne pas une amplification des gènes ou produit un faux résultat trompeur (Jones *et al.* 2010), tandis que les mutations entraînent un changement dans les allèles hérités par les descendants par rapport aux allèles présents chez le parent. Certains modèles analytiques peuvent au moins tenir compte en partie de ces types d'erreurs.

Afin de faciliter l'évaluation des contributions des parents, un certain nombre de détails d'échantillonnage et d'analyse devraient être pris en considération (Pavey 2016) :

- Tous les reproducteurs potentiels issus de l'ESA devraient être soumis à un prélèvement de tissus, et des caractéristiques phénotypiques importantes, notamment le sexe, la longueur, le poids, l'âge et la date de remise à l'eau, devraient être enregistrées avant la remise en liberté.
- Dans la mesure du possible, un nombre au moins égal de parents sauvages potentiels et de parents potentiels issus de l'ESA devraient faire l'objet d'un échantillonnage et être génotypés. Cette conception équilibrée facilitera les comparaisons directes de l'attribution de la descendance à des individus ensemencés et sauvages ainsi que l'estimation de la valeur adaptative relative.

- Étant donné que le but est d'évaluer la valeur adaptative relative des différents stades biologiques parmi les types de parents, la descendance devrait être échantillonnée à un stade et à un point de la rivière où un échantillon d'un mélange non biaisé peut être obtenu de la descendance pour en déterminer l'origine parentale. Cela est probablement réalisable au stade de la migration des saumoneaux et au stade de montaison des adultes échantillonnés près de l'estuaire ou de la limite de marée.
- Les exigences relatives à la taille de l'échantillon devraient être simulées pour déterminer l'efficacité du programme de surveillance à détecter les différences dans la valeur adaptative et d'autres caractéristiques du cycle biologique entre les types de parents. Le nombre de parents sauvages potentiels (échantillonnés et non échantillonnés), le nombre de parents remis à l'eau dans le cadre de l'ESA, le nombre prévu de descendants qui seront produits par chaque type de parent à chaque stade biologique, la proportion du nombre total de descendants de chaque classe d'âge qui peut être échantillonnée, ainsi que la capacité des données relatives au génotype pour établir les liens de parenté, sont tous des facteurs qui doivent être pris en considération.
- Il est essentiel que le taux d'erreur dans les marqueurs génétiques soit estimé de façon empirique et que le nombre de tous les parents potentiels soit estimé. Ces variables sont explicitement incluses dans les modèles de parenté et sont extrêmement importantes pour procéder à des attributions de confiance (Jones *et al.* 2010). Il convient de mentionner que ces chiffres peuvent différer considérablement entre les mâles et les femelles, en raison de la présence de tacons mâles précoces.
- En particulier pour la rivière Miramichi, des profils des microsatellites et des SNP doivent être caractérisés pour qu'un groupe final de locus non liés suffisamment polymorphes puisse être défini. Les simulations réalisées au moyen des logiciels existants peuvent être menées avec le groupe choisi de marqueurs, un taux d'erreur présumé et des proportions de parents non échantillonnés, afin d'évaluer le rendement de ces marqueurs pour le projet à l'étude.

Sources d'incertitude

Comme l'ESA est une activité récente, il y a moins de preuves empiriques disponibles pour quantifier les risques pour la valeur adaptative à long terme parmi les populations sauvages, tout comme les circonstances dans lesquelles des activités d'ESA peuvent être considérées comme présentant un risque négligeable, même si l'on considère qu'il s'agit d'une importante intervention pour un certain nombre de populations de saumon de l'Atlantique qui sont considérées comme étant à risque élevé de disparition.

Il existe de grandes incertitudes, ainsi qu'un manque de preuves, quant à la capacité des technologies d'élevage en captivité d'accroître l'abondance des saumons adultes anadromes dans les générations futures, tout en réduisant au minimum les risques génétiques et écologiques. De nombreuses incertitudes demeurent concernant les meilleures pratiques d'élevage en captivité; il y a eu quelques tentatives pour évaluer rigoureusement ces pratiques au moyen de la modélisation quantitative des compromis démographiques-génétiques, dans le but d'éclairer la prise de décisions de gestion pour les programmes de repeuplement. De plus, en l'absence de meilleures conditions de survie en mer par rapport à celles qui ont contribué à la faible abondance des saumons anadromes, l'objectif d'accroître l'abondance des saumons adultes anadromes dans les générations subséquentes sera difficile à atteindre.

Jusqu'à maintenant, les risques génétiques de l'ESA en soi n'ont pas été rigoureusement évalués de façon empirique ou signalés dans des documents examinés par des pairs portant

sur le saumon de l'Atlantique ou d'autres espèces de salmonidés. Une telle évaluation nécessiterait, à tout le moins, de comparer la survie, le succès reproducteur et le taux de survie des descendants d'un échantillon d'adultes issus de l'ESA par rapport aux adultes sauvages provenant de la même population, dans le milieu naturel. Une évaluation de la valeur adaptative relative nécessiterait la quantification du succès de reproduction des descendants au cours de leur vie jusqu'à la prochaine génération entre les deux groupes de poissons afin d'exclure l'influence de différents milieux parentaux.

Les répercussions possibles sur le succès reproducteur de la population sauvage et la compétition avec les poissons issus de l'ESA tel qu'il est proposé sont incertaines. La plupart des travaux de recherche portant sur les risques que posent les interactions entre le saumon sauvage et les poissons élevés en captivité ont porté sur des poissons élevés en captivité présentant un degré élevé de domestication, pendant plusieurs générations continues en captivité ou par sélection volontaire aux fins d'aquaculture. Toutefois, plus les changements génétiques et esthétiques associés à l'élevage en captivité sont importants, plus le risque d'effets écologiques négatifs est élevé.

Jusqu'à maintenant, aucune évaluation n'a été réalisée pour déterminer si la remise en liberté de poissons issus de l'ESA augmente ou réduit la productivité de la population sauvage ou si son impact est nul. Une évaluation de la première génération de reproducteurs adultes issus des programmes d'ESA nécessiterait des échantillons d'adultes qui effectuent la montaison quatre à sept ans ou plus dans l'avenir, en fonction de l'âge des saumoneaux et de l'âge en mer des poissons vierges à la maturité pour la population à l'étude. De telles expériences nécessitent un investissement en ressources à long terme.

Des recherches poussées ainsi que des évaluations et des modélisations des activités d'ESA existantes ou proposées sont nécessaires. La compilation de ces résultats d'évaluation supplémentaires faciliterait la prise de décisions appropriées concernant le moment, l'endroit et la façon dont l'ESA pourrait offrir les avantages démographiques nets souhaités pour les populations de saumon sauvage.

CONCLUSIONS ET AVIS

L'ensemencement avec des saumons juvéniles/saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte (ESA) consiste à intercepter des saumons sauvages aux stades biologiques juvéniles, à les élever en captivité jusqu'au stade adulte, puis à remettre en liberté les poissons adultes élevés en captivité dans leur rivière d'origine pour compléter leur cycle vital; il est considéré comme une importante mesure de rétablissement pour la population en voie de disparition de l'extérieur de la baie de Fundy et la population de saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy qui sont en voie de disparition et inscrites en vertu de la LEP. Étant donné que la mortalité en mer est considérée comme la menace la plus importante pour le rétablissement des populations de saumon à risque de disparition, l'ESA et d'autres interventions (comme le recours aux banques de gènes vivants) sont utilisés pour contourner la phase marine et maintenir le nombre d'adultes, dans le but de prévenir la disparition de l'espèce, de réduire au minimum la perte de la diversité génétique et de maintenir les populations de saumon de l'Atlantique jusqu'à ce que les conditions, principalement le taux de survie en mer, deviennent favorables (MPO 2008).

L'ESA réduit certains des risques connus associés aux programmes traditionnels prévoyant l'utilisation de stocks de reproducteurs sauvages capturés et ayant frayé dans l'écloserie et l'empoissonnement de juvéniles, mais il présente des risques à d'autres points du cycle vital anadrome, dont les effets sont incertains, en particulier ceux associés à la sélection au cours de

la phase marine (Fraser 2016). Puisqu'il s'agit d'un nouveau procédé, il existe très peu de données empiriques qui décrivent adéquatement les risques et les avantages de ces programmes d'ESA pour les populations sauvages de saumon de l'Atlantique.

Il est clair que les saumons de l'Atlantique juvéniles peuvent être élevés en captivité, dans des conditions d'eau de mer ou d'eau douce, jusqu'au stade adulte, et qu'une fois relâchés, les adultes issus de l'ESA peuvent, du moins dans une certaine mesure, se comporter comme leurs congénères sauvages, frayer avec succès et produire une descendance en milieu naturel, et dans certains cas, leur descendance peut terminer le cycle vital anadrome et effectuer la montaison en tant qu'adultes pour frayer dans sa rivière d'origine. Des incertitudes demeurent quant à savoir si les descendants d'adultes issus de l'ESA sont moins adaptés que les descendants de leurs congénères exclusivement sauvages.

En raison des conditions environnementales et des pressions sélectives qui diffèrent invariablement entre les milieux naturels et de captivité, le milieu de captivité pourrait provoquer des modifications génétiques et esthétiques des phénotypes, ce qui entraînerait une diminution de la valeur adaptative des individus élevés en captivité par rapport aux poissons sauvages lorsque les premiers sont remis en liberté dans le milieu naturel. Ces changements attribuables aux pressions sélectives et environnementales peuvent toucher tous les aspects des phénotypes, y compris la morphologie, le cycle biologique, le comportement, la physiologie et la résistance aux maladies.

En captivité, des changements génétiques inadaptés (désignés collectivement par le terme « sélection de domestication ») peuvent se produire par deux mécanismes principaux : (i) par sélection involontaire ou (ii) par assouplissement de la sélection naturelle. La sélection involontaire (attribuable aux mortalités massives non aléatoires pendant l'élevage en captivité ou par effets de report) peut se produire dès le premier stade de l'ESA pendant les collectes de saumons juvéniles si ces collectes ne reflètent pas tout le spectre des périodes de migration ou des tailles des saumoneaux. Il existe des exemples de sélection involontaire dans les activités d'ESA qui ont été documentés dans l'Est du Canada.

Chez les salmonidés, l'approvisionnement maternel ou l'attribution de nutriments aux œufs, qui pourrait être touché par les conditions environnementales (température, densité, nutrition), peut avoir une incidence sur la croissance et la survie de la descendance aux premiers stades dans le milieu naturel. De plus, le milieu d'élevage peut également apporter des changements épigénétiques (p. ex. par la méthylation d'ADN ou la modification de l'histone) qui pourraient avoir des répercussions sur les niveaux de transcription génétique et, au bout du compte, sur le phénotype d'un individu. Des recherches menées récemment sur d'autres taxons, y compris les poissons, indiquent que de tels changements épigénétiques provoqués par l'environnement peuvent également être transmis par les parents (mère et père) à des descendants (effets de report) et constituent, par le fait même, une autre façon dont le milieu d'élevage des parents peut avoir une incidence sur la valeur adaptative des descendants de poissons issus de l'ESA (et du croisement entre un poisson issu de l'ESA et un poisson sauvage) dans le milieu naturel.

Un autre risque génétique lié à l'ESA est le croisement entre des poissons élevés en captivité et des poissons sauvages au sein d'une population. Tant qu'il y a un certain risque que l'ESA entraîne des changements phénotypiques et génétiques qui réduisent la valeur adaptative de la descendance dans le milieu naturel par sélection de domestication, il y a un risque que la descendance résultant du croisement entre un poisson issu de l'ESA et un poisson sauvage ait une valeur adaptative réduite dans le milieu naturel.

Compte tenu de ce qui précède, la descendance des adultes issus de l'ESA dans le milieu naturel devrait avoir une valeur adaptative réduite par rapport à la descendance d'adultes sauvages, et la descendance résultant du croisement entre un parent issu de l'ESA et un parent

sauvage devrait avoir des niveaux intermédiaires de valeur adaptative par rapport à la descendance de deux parents issus de l'ESA et à la descendance de deux parents sauvages (Fraser 2016).

La mesure dans laquelle la valeur adaptative moyenne à court terme (première génération) et à long terme (générations successives) au sein d'une population sera touchée par les activités d'ESA dépendra d'un certain nombre de facteurs, notamment la question de savoir si l'ESA est pratiqué de façon continue ou intermittente et sur plusieurs générations successives de saumons ou non, la proportion de la population qui provient de l'ESA, et la mesure dans laquelle les conditions environnementales d'élevage dans le cadre de l'ESA diffèrent de celles auxquelles une population sauvage est habituellement exposée. L'importance de l'écart par rapport aux caractéristiques des adultes issus de l'ESA et à leur descendance par rapport à celle de poissons sauvages devrait être liée aux différences dans la valeur adaptative de la descendance de ces types de parents.

Une forte mortalité marine est considérée comme étant la contrainte la plus importante pour le rétablissement des populations de saumon. Les programmes d'ESA permettent de contourner ce stade, et le taux de survie des saumoneaux jusqu'à l'âge adulte devrait être beaucoup plus élevé à l'aide de l'ESA qu'il ne le serait dans le milieu naturel. Cela est susceptible d'entraîner un assouplissement des pressions exercées par la sélection naturelle, lesquelles sont associées à tous les aspects de l'écologie marine du saumon de l'Atlantique, notamment la prédation, la migration, le retour, la résistance aux parasites et aux agents pathogènes, les interactions sociales, la vigueur de migration et les niveaux d'activité, en particulier dans les populations effectuant des migrations marines sur de longues distances.

Compte tenu des taux de mortalité en mer actuellement élevés du saumon de l'Atlantique dans l'Est du Canada, les saumons anadromes qui effectuent la montaison sont probablement ceux qui présentent la meilleure combinaison de caractéristiques de valeur adaptative pour l'environnement actuel. Toute dilution de ces caractéristiques attribuables aux activités d'ESA et, en particulier, à la production de descendants résultant du croisement de poissons issus de l'ESA avec des poissons sauvages, pourrait retarder le rétablissement de l'abondance du phénotype du saumon anadrome sauvage qui est actuellement soumis à une forte sélection naturelle en mer. Ou, pire encore, cela pourrait accroître le risque de diminutions supplémentaires de l'abondance du phénotype anadrome en raison d'une proportion plus importante de la descendance qui est mal adaptée pour survivre dans les conditions marines actuelles.

Bien que l'on connaisse mal l'adaptation locale pendant la phase marine du cycle biologique des salmonidés anadromes, on croit qu'ils s'adaptent aux différents secteurs marins. Plus important encore, les adaptations locales en eau douce sont intimement liées à la phase marine des salmonidés anadromes, et il n'est pas déraisonnable de supposer que, tous les autres facteurs étant égaux, plus une population de saumon de l'Atlantique sauvage est adaptée localement à la phase marine du cycle de vie ou à la phase de transition de l'eau douce à l'eau de mer, plus il est probable que l'ESA entraînera des changements phénotypiques et génétiques inadaptés qui ont une incidence sur la valeur adaptative en milieu naturel.

L'abondance des populations de saumon de l'Atlantique est régie principalement par la mortalité dépendante de la densité au stade biologique de saumons juvéniles en eau douce. Si la dynamique de recrutement des juvéniles en eau douce est fortement compensatoire, il se peut qu'il y ait très peu de gains à réaliser dans la production de saumoneaux ou dans les montaisons d'adultes subséquentes en procédant à l'ensemencement de l'échappée de reproducteurs avec un grand nombre de reproducteurs adultes élevés en captivité, notamment lorsque l'habitat d'eau douce est utilisé à sa capacité de charge ou près de celle-ci. Dans ce

cas, l'ajout d'un grand nombre de descendants d'adultes élevés en captivité dans la rivière pourrait se traduire par une hausse de la mortalité dépendante de la densité parmi les descendants de reproducteurs anadromes sauvages.

Les critères et les paramètres pour évaluer les risques génétiques et écologiques de la pratique de l'ESA sont fondés sur deux contextes : (i) la mesure dans laquelle les poissons élevés en captivité pourraient s'écarter des phénotypes sauvages (ou des génotypes sous-jacents); et (ii) la proportion de poissons issus de l'ESA par rapport à la taille de la population totale d'une population sauvage ensemencée. Il est possible de surveiller les caractéristiques phénotypiques qui pourraient s'écarter de celles de la population sauvage en raison des activités d'ESA. Le choix précis de l'activité d'ESA pourrait entraîner différents niveaux de probabilité de produire poissons issus de l'ESA présentant des caractéristiques qui s'écartent de celles trouvées en milieu naturel.

Un certain nombre de facteurs doivent être pris en considération dans l'évaluation des risques pour la valeur adaptative, notamment : l'héritabilité de caractéristiques qui ont une incidence sur la valeur adaptative (taux de croissance, âge à la maturité, cycle de montaison, résistance aux maladies et aux agents pathogènes), l'importance de la perte de valeur adaptative des descendants d' adultes issus de l'ESA qui est associée à l'élevage en captivité ainsi qu'aux descendants résultants d'un croisement, et la proportion relative de reproducteurs issus de l'ESA par rapport aux reproducteurs sauvages (mâles adultes et mâles précoces). L'effet du croisement entre des poissons sauvages et des poissons élevés en captivité sur les pertes générationnelles successives de valeur adaptative doit également être pris en considération, car les poissons issus de l'ESA pourraient représenter une grande proportion d'adultes reproducteurs, en particulier au sein d'une petite population ensemencée. Les risques pour la productivité de la population augmentent et ne pourront probablement pas être atténués par la population sauvage à l'intérieur d'une génération une fois l'intervention terminée, lorsque l'ESA :

- entraîne des réductions de la valeur adaptative des descendants par rapport à celle des poissons sauvages;
- est pratiqué de façon constante pendant plusieurs générations successives;
- représente une proportion plus grande du nombre total d'adultes (ou d'un des deux sexes) au sein de la population.

Les avantages et les risques dépendent de l'ampleur de l'activité d'ESA. À mesure que l'échelle augmente, notamment en ce qui concerne le nombre de reproducteurs issus de l'ESA et la taille du bassin géographique où les reproducteurs issus de l'ESA sont introduits, les avantages potentiels liés à la production future pourraient augmenter eux aussi, en particulier s'il existe une importante capacité sous-utilisée de production en eau douce. De plus, au fur et à mesure que la proportion de reproducteurs issus de l'ESA augmente par rapport au nombre total de reproducteurs, l'efficacité de l'évaluation à quantifier les conséquences pour la valeur adaptative augmentera également. Cependant, dans les deux cas, les risques généraux pour les populations de saumons sauvages seront plus importants; dans le premier cas, en raison de la sélection aléatoire involontaire qui peut survenir durant les activités d'ESA s'il existe une structuration complexe de la population des sous-bassins, et dans le deuxième cas, parce que les descendants des poissons issus de l'ESA entraîneront invariablement une surreprésentation par rapport aux composantes de la population des sous-bassins de la population sauvage. Ces caractéristiques devraient être prises en considération dans toutes les décisions concernant les activités d'ESA proposées.

L'activité d'ESA proposée dans la rivière Miramichi Nord-Ouest soulève quatre préoccupations particulières : tout d'abord, le projet d'élevage en eau douce dans le cadre de l'ESA signifie que

bon nombre de caractéristiques associées à la survie du saumon en milieu marin et à la sélection pour le meilleur ensemble de caractéristiques anadromes seront moins présentes. Deuxièmement, les populations présentant d'importants antécédents de cycles biologiques anadromes pluribermarins, comme ceux de la rivière Miramichi Nord-Ouest, sont plus susceptibles d'être touchées par les poissons élevés dans le cadre de l'ESA que les populations principalement composées de poissons unibermarins, parce qu'un grand nombre de saumons juvéniles issus de populations de saumons pluribermarins arriveront à maturité plus tard et auront besoin de plusieurs années en captivité pour atteindre leur maturité. Les changements génétiques et esthétiques associés à l'élevage en captivité augmentent avec le prolongement de la période durant laquelle les individus sont en captivité. Troisièmement, le bassin de la rivière Miramichi devrait avoir un ensemble de populations de saumon génétiquement distinctes et adaptées localement. Le mélange de ces populations pourrait être difficile à éviter lorsqu'on effectue des prélèvements pour l'ESA et que la sélection involontaire des composantes pourrait se produire au détriment des autres. De plus, il pourrait être difficile d'exercer une surveillance statistiquement efficace des activités d'ESA au sein d'un réseau hydrographique si vaste et complexe. Enfin, la surveillance des juvéniles dans la rivière Miramichi a permis d'établir le lien entre les stocks d'œufs-alevins et le recrutement qui est fortement compensatoire. Une augmentation des densités moyennes d'alevins par rapport aux valeurs des dernières années suite à une augmentation des pontes (issues de l'ESA ou autrement) devrait être réalisable, mais le phénomène se produirait concurremment à une mortalité compensatoire élevée des juvéniles de toutes origines parentales liée à une dépendance accrue à la densité. Cela est particulièrement préoccupant si les descendants de parents issus de l'ESA et les descendants résultant du croisement entre des poissons issus de l'ESA et des individus sauvages affichent une valeur adaptative moindre, en particulier pour la survie en mer, par rapport aux descendants de parents sauvages, ce qui entraînerait une stabilisation ou encore une diminution supplémentaire de la taille de la population de saumons de l'Atlantique adultes anadromes sauvages.

Comme il y a un grand nombre d'incertitudes associées à la quantification des avantages et des risques liés à l'ESA pour la valeur adaptative des poissons sauvages, toute activité d'ESA entreprise devrait inclure une composante de surveillance et d'évaluation. Cette composante d'évaluation devrait être conçue de manière à fournir des données empiriques pour réduire l'incertitude relative à l'évaluation des risques et des avantages des interventions d'ESA pour la valeur adaptative à long terme des populations sauvages. La question la plus importante à régler est la contribution générationnelle des adultes issus de l'ESA par rapport à celle des adultes sauvages. Cette question peut être examinée à l'aide des techniques génomiques qui permettent d'attribuer la descendance à son origine parentale (sauvage-sauvage, croisement sauvage-ESA, ESA-ESA) et, par conséquent, d'estimer la valeur adaptative à court terme (première génération) et à long terme (générations successives).

AUTRES CONSIDÉRATIONS

Selon la durée de l'activité d'ESA ciblant le saumon de l'Atlantique dans une seule rivière ou dans un seul réseau/bassin hydrographique, on procédera à l'ajout à court ou à long terme de la composante exploitable de la rivière. Si l'objectif initial de l'ESA est d'atténuer les impacts anthropiques sur la population de saumons en eau douce, une stratégie ou un objectif clair de gestion de la pêche du saumon sauvage et du saumon issu de l'ESA serait nécessaire avant la mise en œuvre d'une activité d'ESA. Cela est particulièrement important pour protéger la population sauvage de l'exploitation, si l'activité d'ESA est pratiquée dans une rivière ou une zone où il y a des activités de pêche, comme les pêches autochtones à des fins alimentaires,

sociales et rituelles et les pêches récréatives (de tout type, rétention ou prise et remise à l'eau seulement).

SOURCES DES RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion régionale d'examen scientifique par des pairs qui s'est déroulée du 14 au 16 décembre 2015 sur l'Évaluation des risques et avantages sur la santé du saumon de l'Atlantique sauvage des activités de repeuplement avec du saumon adulte élevé en captivité. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le calendrier des avis scientifiques du secteur des Sciences du MPO.

Araki, H., Berejikian, B.A., Ford, M.J., and Blouin, M.S. 2008. Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild. Evol. Appl. 1: 342–355.

Bourret V., Dionne M., and Bernatchez, L. 2014. Detecting genotypic changes associated with selective mortality at sea in Atlantic salmon: polygenic multilocus analysis surpasses genome scan. Mol. Ecol. 23: 4444-4457.

Carr, J.W., Whoriskey, F., and O'Reilly, P. 2004. Efficacy of releasing captive reared broodstock into an imperilled wild Atlantic salmon population as a recovery strategy. J. Fish Biol. 65 (suppl 1): 38-54.

Chaput, G., Douglas, S.G., and Hayward, J. 2016. Biological characteristics and freshwater population dynamics of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from the Mirmichi River, New Brunswick, Canada. DFO Can. Sci. Adv. Sec. Res. Doc. 2016/029.

Dempson J.B., Pepper, V.A., Furey, G., Bloom, M., Nicholls, T., and Hoskins, G. 1999. Evaluation of an alternative strategy to enhance salmon populations: Cage rearing wild smolts from Conne River, Newfoundland. ICES J. Mar. Sci. 56: 422-432.

DFO. 2008. Evaluation of Captive Breeding Facilities in the Context of their Contribution to Conservation of Biodiversity. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2008/027.

DFO. 2015. Update of stock status of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in DFO Gulf Region (New Brunswick Salmon Fishing Areas 15 and 16) for 2014. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2015/008.

Douglas, S.G., Chaput, G., Hayward, J., and Sheasgreen, J. 2015. Assessment of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in Salmon Fishing Area 16 of the southern Gulf of St. Lawrence to 2013. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/049. v + 36 p.

Flanagan, J.J., Jones, R.A., and O'Reilly, P. 2006. A summary and evaluation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt monitoring and rotary screw fish trap activities in the Big Salmon River, 2001 – 2005. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2646: vii + 31p.

Fleming, I.A., Lamberg, A., and Jonsson, B. 1997. Effects of early experience on the reproductive performance of Atlantic salmon. Behavioral Ecol. 8: 470-480.

Fraser, D.J. 2008. How well can captive breeding programs conserve biodiversity? A review of salmonids. Evol. Appl. 1: 535-586.

Fraser, D.J. 2016. Risks and benefits of mitigating low marine survival in wild Atlantic salmon using smolt-to-adult captive-reared supplementation. DFO Can. Sci. Adv. Sec. Res. Doc. 2016/030.

Fraser, D.J., Weir, L.K., Bernatchez, L., Hansen, M.M., and Taylor, E.B. 2011. Extent and scale of local adaptation in salmonid fishes: review and meta-analysis. Heredity 106: 404-420.

Jones, A.G., Small, C.M., Paczolt, K.A., and Ratterman, N.L. 2010. A practical guide to methods of parentage analysis. Molecular Ecology Resources 10: 6-30.

Jones, R.A., Anderson, L., and Clarke, C.N. 2014. Assessment of the Recovery Potential for the Outer Bay of Fundy Population of Atlantic Salmon (*Salmo salar*): Status, Trends, Distribution, Life History Characteristics and Recovery Targets. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/008. vi + 94 p.

Jonsson, B., and Jonsson, N. 2006. Cultured Atlantic salmon in nature: a review of their ecology and interaction with wild fish. ICES J. Mar. Sci. 63: 1162-1181.

Lawlor, J.L., Dacaney A., Hutchings J.A., and Brown, L.L. 2009. Differences in pathogen resistance within and among cultured, conservation-dependent, and endangered populations of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. Envir. Biol. Fish. 84: 69-78.

MPO. 2008. Évaluation des installations d'élevage en captivité dans le contexte de leur contribution à la conservation de la biodiversité. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2008/027.

MPO. 2015. Mise à jour de l'état des stocks de saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) dans la région du Golfe du MPO (zones de pêche du saumon 15 et 16 du Nouveau-Brunswick) pour 2014. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2015/008.

O'Reilly, P., and Doyle, R. 2007. Live gene banking of endangered populations of Atlantic salmon, pp. 425-469. In: E. Verspoor, L. Stradmeyer, and J.L. Nielsen (eds). The Atlantic Salmon: Genetics, Conservation and Management. Springer, The Netherlands.

O'Reilly, P.T., Wissink, R., Cassista-Da Ros, M., Clarke, C., and Caissie, A. 2010. Use of molecular genetic marker data and pedigree inference to evaluate the efficacy of an adult-release stocking program on the Point Wolfe River, New Brunswick. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci: 2896: viii+93p.

O'Toole, C.L., Reed, T.E., Bailie, D., Bradley, C., Cotter, D., Coughlan, J., Dillane, E., McEvoy, S., Pradohl, P., Regan, G., and McGinnity, P. 2015. The signature of fine scale local adaptation in Atlantic salmon revealed from common garden experiments in nature. Evol. Appl. DOI: 10.1111/eva.12299.

Pavey, S.A. 2016. Molecular techniques for parentage analysis to assess supplementation effectiveness for Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in the Miramichi River. DFO Can. Sci. Adv. Sec. Res. Doc. 2016/031.

Stark, E.J., Atkinson, E.J., and Kozfkay, C.C. 2014. Captive rearing for Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*): the Idaho and Maine experiences. Rev. Fish Biol. Fish. 24 (3): 849-880.

Taylor, E.B. 1991. A review of local adaptation in Salmonidae, with particular reference to Pacific and Atlantic salmon. Aquaculture 98:185–207.

Waples, R.S. 1999. Dispelling some myths about hatcheries. Fisheries 24:12–21.

ANNEXES

Annexe 1. Proposition relative à un programme d'ensemencement avec des saumoneaux élevés en captivité jusqu'à l'âge adulte dans la rivière Miramichi Nord-Ouest présentée par promoteurs, version du 20 mai 2015 (texte fournit par les intervenants en anglais seulement).

La situation difficile du saumon de l'Atlantique dans la région des Maritimes soulève d'importantes préoccupations en raison des faibles taux de montaison de saumons adultes enregistrés de 2012 à 2014. L'une des zones les plus durement touchées dans le golfe du Saint-Laurent est la rivière Miramichi Nord-Ouest, où seulement 22 % des adultes reproducteurs nécessaires sont entrés dans le fleuve en 2014. Ce nombre correspond à un peu plus de 1 200 grilses et 1 200 grands saumons, et ne tient pas compte des retraits/pertes susceptibles de survenir en amont des barrières de dénombrement du MPO dans les eaux de marée de la rivière. Alors que le Comité consultatif ministériel se réunit pour préparer un certain nombre de recommandations à l'intention du gouvernement fédéral sur un plan d'action visant à rétablir les montaisons de saumon, de nombreux groupes du secteur privé prévoient également des projets pour contrer ce déclin.

La Miramichi Salmon Association exploite l'ancienne écloserie de saumons du MPO à South Esk, et ensemence la rivière Miramichi avec des juvéniles depuis que le MPO lui a confié l'installation en 1997. En raison de la situation désastreuse de la population de saumons, on note une augmentation de la demande d'ensemencement. C'est dans ce contexte qu'un groupe d'intervenants essentiels du bassin hydrographique de la rivière Miramichi, notamment JD Irving Ltd., Cooke Aquaculture, la Fédération du saumon de l'Atlantique, le camp de patrouille du ruisseau Rocky, l'Université du Nouveau-Brunswick et la Miramichi Salmon Association, s'est réuni pour discuter des problèmes auxquels le saumon de l'Atlantique est confronté et des mesures pouvant être prises pour améliorer la survie de l'espèce. Un rapport sur certains des enjeux généraux a été préparé et soumis au Comité consultatif ministériel. Une discussion détaillée a ensuite eu lieu sur les mesures qui pourraient être immédiatement mises en place à l'échelle locale, notamment le repeuplement du stock.

Les avantages et les inconvénients des différentes stratégies d'ensemencement ont été étudiés, et l'option choisie étant susceptible d'entraîner le moins de dommages et le plus d'effets bénéfiques consiste à capturer des saumoneaux sauvages dans la rivière Miramichi Nord-Ouest, à les élever jusqu'au stade adulte, puis à les libérer pour qu'ils retournent frayer dans leur région natale. Ce programme se déroulera dans une écloserie à terre équipée d'un système de recirculation en eau douce qui se trouve au Centre de conservation du saumon de la Miramichi, à South Esk, et comprendra des modernisations importantes à l'installation. L'avantage de cette stratégie est que les saumoneaux sauvages ont passé deux, trois ou quatre ans en eau douce et qu'ils ont été exposés à la loi du plus fort. Le milieu marin est le principal problème relevé quant à la survie du saumon, d'où seulement 2 % à 3 % des saumons reviennent pour les montaisons. Il s'agit donc du domaine où les gains les plus importants peuvent être obtenus. Libérer les saumons adultes et les laisser retourner par eux-mêmes dans leur région natale pour choisir un partenaire et se reproduire, présente également les avantages d'une certaine sélection naturelle. À compter de 2016, la collecte de géniteurs adultes dans la rivière Miramichi Nord-Ouest sera réduite de 50 paires à 25 paires, car on commencera à relâcher d'autres adultes dans la rivière dans le cadre de ce programme.

Cette stratégie d'élevage de saumoneaux jusqu'au stade adulte a déjà été utilisée par le MPO comme mesure d'urgence dans le cadre du programme de banques de gènes de la baie de Fundy, et comme les stocks étaient très bas lors du lancement du programme, le bassin génétique offrait un choix limité. La rivière Miramichi Nord-Ouest dispose toujours d'une banque génétique adéquate afin que les membres de la même famille soient moins susceptibles de se reproduire les uns avec les autres. Une équipe de recherche sera formée de manière à évaluer pleinement les avantages de ce programme.

Les détails du Programme

On propose de recueillir des saumoneaux sauvages dans la rivière Miramichi Nord-Ouest au printemps 2015 pour lancer le programme. Le plan initial consiste à recueillir 200 saumoneaux dans le tourniquet à saumoneaux de la rivière Miramichi Nord-Ouest, 200 saumoneaux dans celui de la rivière Sevogle et 1 100 saumoneaux dans un autre qui sera installé à Upper Oxbow, dans la Petite Miramichi Sud-Ouest, pour un total de 1 500 saumoneaux. Les saumoneaux seront amenés au Centre de conservation du saumon de la Miramichi, à South Esk, et conservés dans des réservoirs séparés. Une fois la collecte terminée, une équipe marquera les saumoneaux à l'aide d'étiquettes à transpondeur passif intégré, prélèvera du tissu sur les nageoires pour des recherches génétiques, mesurera et pèsera les poissons et les vaccinera contre la furonculose. Les poissons seront nourris de krill sec les premiers jours et passeront ensuite à une diète d'aliments en grains commerciaux. Les poissons passeront l'été dans la petite serre du Centre de conservation du saumon de la Miramichi, puisque des rénovations sont effectuées dans la grande serre afin de mettre l'installation à niveau pour exploiter la technologie de recirculation.

La cartographie génétique du saumon sauvage des différents bras de la rivière Miramichi Nord-Ouest sera effectuée au cours de l'été 2015 par une équipe de l'Université du Nouveau-Brunswick. Le plan consiste à surveiller les saumons adultes élevés en captivité une fois qu'ils seront relâchés dans la nature, en plaçant des radioémetteurs sur les poissons et en observant l'endroit où ils se reproduisent. On procédera à des analyses génétiques sur les alevins de saumon provenant de la zone immédiate et on en fera le suivi pendant leur séjour en eau douce afin de comparer le taux de survie de la progéniture « améliorée » et de la progéniture « sauvage » jusqu'au stade de saumoneau.

Lorsque la construction sera terminée, le programme visera davantage de saumoneaux les années suivantes. Toutefois, il ne peut s'agit que d'une stratégie à court terme, jusqu'à ce qu'on puisse déterminer le succès du programme.

Annexe 2. Résumé des risques associés à des composantes particulières du programme d'ESA de saumons de l'Atlantique qui peuvent donner lieu à des écarts par rapport aux caractéristiques sauvages

Tableau A2 : La colonne des éléments de preuve indique la source de l'information qui soutient, quand elle est fournie, la cotation de probabilité (faible, moyenne, forte) de l'étendue de l'écart. Les preuves sont regroupées comme suit : preuves directes fondées sur des recherches empiriques sur l'ESA pour le saumon de l'Atlantique (SA) ou le saumon du Pacifique (SP), preuves indirectes provenant des programmes d'ensemencement avec des juvéniles (SA ou SP) ou autres preuves indirectes (autres espèces, modélisation ou études théoriques). Les références documentaires pour chacun sont fournies dans Fraser (2016).

Processus propre à l'activité	Raisons pour lesquelles les composantes pourraient s'écarter du saumon sauvage	Source et importance de l'écart par rapport au saumon sauvage	Éléments de preuve
Capture de juvéniles			
Moment et efficacité des activités de capture	- les caractéristiques phénotypiques (période de migration, âges en eau douce, sex-ratio, taille des poissons, etc.) des saumoneaux prélevés pour l'ESA pourraient ne pas être représentatives de l'ensemble de la population de saumoneaux sauvages en dévalaison	sélection involontaire - l'écart type peut être plus important dans les grandes rivières avec structuration des stocks, et moins dans les petites rivières avec moins de structuration	Direct (SA) Indirect (SP)
Élevage des juvéniles jusqu'à l'âge adulte			
transfert d'un milieu naturel à un milieu de captivité	- la survie différentielle de la collecte à l'écloserie fondée sur l'état ou la taille des saumoneaux - les saumoneaux ne sont pas adaptés au transfert à l'eau de mer	sélection involontaire - faible probabilité d'écart	Direct (SA)
	- début de l'alimentation en captivité - les poissons sont nourris d'aliments artificiels	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport aux poissons sauvages (changements du régime alimentaire des saumoneaux sauvages, de l'alimentation en surface à l'alimentation dans la colonne d'eau; syndrome de faiblesse du saumoneau en captivité)	Direct (SA et SP) Indirect (SA)
élevage à forte densité	- comportements territoriaux naturels des juvéniles qui ne sont pas des saumoneaux	sélection de domestication - faible probabilité d'écart (des études menées sur des saumons juvéniles montrent la transition des saumoneaux vers le rassemblement en bancs; la territorialité est réduite chez les saumoneaux et les poissons des stades subséquents, comme le montre le comportement des adultes dans les fosses de rivières)	Indirect (SA et SP)
	- l'agressivité, la prise de risques, la concurrence pour la nourriture, le comportement social	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport aux poissons sauvages (d'après les études sur l'ensemencement de juvéniles, associés à des bancs généralement plus petits en mer)	Indirect (SA et SP) Indirect (autre)

Processus propre à l'activité	Raisons pour lesquelles les composantes pourraient s'écarter du saumon sauvage	Source et importance de l'écart par rapport au saumon sauvage	Éléments de preuve
	- taux de croissance associés aux effets de la densité	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport aux poissons sauvages (d'après les programmes d'ensemencement visant à optimiser la survie et la croissance; le taux de croissance en mer n'est pas susceptible d'être touché par la densité)	Indirect (SA et SP) Indirect (autre)
	- approvisionnement maternel pour les œufs, succès reproducteur des mâles	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport aux poissons sauvages (les milieux stressants à forte densité peuvent entraîner une réduction des investissements dans la quantité d'œufs et leur qualité)	Direct (SA et SP) Indirect (autre)
	- interactions avec le microbiote, dynamique et charge d'agents pathogènes et de parasites	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport au saumon sauvage	Indirect (SA)
régime alimentaire artificiel	- la composition nutritive des aliments artificiels diffère de l'alimentation en milieu naturel	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport aux poissons sauvages (recherche sur les régimes alimentaires utilisés en aquaculture qui favorisent la croissance, mais de faibles taux de maturation; régime alimentaire varié des poissons sauvages en mer)	Indirect (SA)
régime alimentaire	- période et intensité de l'alimentation (alimentation périodique en captivité par rapport aux possibilités d'alimentation continue dans la nature)	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport au saumon sauvage	Indirect (autres)
	- source de nourriture (alimentation en surface en captivité par rapport à une alimentation dans la colonne d'eau en milieu naturel)	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport au saumon sauvage	Indirect (autres)
facteurs abiotiques associés à l'élevage (température, salinité, photopériode, chimie de l'eau, etc.)	- les températures marines en haute mer diffèrent des températures de captivité en mer - les cycles de température de l'eau douce diffèrent des cycles de température de la mer - association de croissance avec la température (taux métabolique) - effets sur les calendriers de maturation et lancement du frai une fois les poissons remis en liberté	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport aux poissons sauvages (divers éléments de preuve provenant des activités d'élevage en captivité, des activités d'ensemencement, de l'aquaculture)	Direct (SP) Indirect (SA et SP)
	- effets épigénétiques (le milieu d'élevage pourrait avoir un effet sur la méthylation ou l'ensemble des gènes de l'histone, ce qui a une incidence sur la transcription de l'ADN, et qui pourrait être transmis par les parents aux descendants).	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport au saumon sauvage	Indirect (autres)

Processus propre à l'activité	Raisons pour lesquelles les composantes pourraient s'écarter du saumon sauvage	Source et importance de l'écart par rapport au saumon sauvage	Éléments de preuve
élevage en milieu confiné	- assouplissement des stratégies d'aversion au risque, réduction des interactions interspécifiques	sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport aux saumons sauvages dans les systèmes terrestres - probabilité d'écart faible à forte par rapport à l'environnement de cage en mer, selon le contexte (études sur le programme d'ensemencement, comportement des poissons ensemencés novices, dépend des pratiques d'élevage)	Indirect (SA)
élevage en milieu confiné	- effets sur la forme et l'état du corps, la vigueur migratoire	sélection de domestication - probabilité d'écart faible à forte (en corrélation avec la densité d'élevage, poissons courts et lourds, queues écourtées, morphologie de la tête, dépend des pratiques d'élevage)	Direct (SA) Indirect (SA et SP)
durée de la captivité	- élevage prolongé en captivité jusqu'à maturité (diverses stratégies anadromes concernant l'âge en mer à la maturité [UBM, DBM, TBM] qui varient selon le sexe)	sélection de domestication - la probabilité d'écart faible à forte (probabilité d'écart plus élevée par rapport aux stocks de saumons PBM sauvages, particulièrement ceux élevés en eau douce; faible probabilité d'écart pour les stocks de saumons UBM élevés en mer)	Direct (SA) Indirect (SA et SP) Indirect (autre)
utilisation de vaccins, d'antibiotiques, de bains de sel pour le traitement des maladies ou des incidences d'agents pathogènes	- sélection artificielle de poissons présentant diverses résistances aux agents pathogènes	sélection involontaire et sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport aux populations sauvages (se produit dans des environnements d'élevage en captivité pour maintenir les hauts taux de survie des poissons élevés en captivité)	Indirect (SA) Indirect (autre)
choix du milieu d'élevage	- les différences entre l'élevage en eau douce et l'élevage en mer, les agents pathogènes, le microbiote, la flore intestinale, le stress de confinement	sélection de domestication - écart important par rapport au saumon sauvage pour l'élevage en eau douce - faible écart par rapport au saumon sauvage en mer, mais il varie en fonction des expositions locales ou distantes	Indirect (SA) Indirect (autre)
Remise en liberté de poissons adultes			
Lieu de remise en liberté en eau douce	- poissons élevés dans le cadre d'un programme d'ESA puis remis en liberté dans des lieux qui pourraient ne pas correspondre au stock d'origine des juvéniles - retour vers l'emplacement d'élevage en eau douce	sélection involontaire, sélection de domestication - probabilité d'écart faible à forte (dépend du taux d'errance des poissons sauvages)	Direct (SA)
Lieu de remise en liberté en eaux de marée ou de mer	- l'empreinte des poissons issus de l'ESA dans la rivière d'origine n'est pas complète, ce qui augmente les taux d'errance par rapport à d'autres rivières	sélection involontaire - probabilité d'écart faible à forte (dépend de la façon dont les saumoneaux ont été transférés dans des cages en mer, l'héritage d'empreinte)	Direct (SA)

Processus propre à l'activité	Raisons pour lesquelles les composantes pourraient s'écarter du saumon sauvage	Source et importance de l'écart par rapport au saumon sauvage	Éléments de preuve
Moment de la remise en liberté	- moment de libération sous-optimal qui ne correspond pas à la période de montaison des stocks sauvages (selon la définition du niveau de maturité en captivité)	sélection involontaire, sélection de domestication - forte probabilité d'écart par rapport aux grandes rivières, avec la structure de la période de montaison - faible probabilité d'écart par rapport aux poissons sauvages pour les stocks des rivières plus petites	Direct (SA et SP)
Moment de la remise en liberté	- identification erronée des niveaux de maturité des poissons issus de l'ESA	sélection involontaire - poissons immatures remis en liberté et perdus au cours du frai pendant l'année de la remise à l'eau - forte probabilité d'écart par rapport aux populations sauvages, puisque tous les adultes anadromes effectuant la montaison sont des reproducteurs	Direct (SA)
	- les remises en liberté ne sont pas proportionnelles aux stocks sauvages en termes d'âge, de sex-ratio et de taille des poissons en eau douce	sélection involontaire - forte probabilité d'écart par rapport au saumon sauvage	Direct (SA) Indirect (SP)
	- les communautés de microbiote diffèrent selon les pratiques d'élevage et les traitements utilisés	sélection de domestication - forte probabilité d'écart du saumon sauvage (les poissons anadromes auront différentes communautés de microbiote par rapport à celles des saumons élevés en captivité en raison des pratiques d'élevage et des traitements ainsi que des emplacements et de la réalisation de diagnostics avant la remise en liberté)	Indirect (SA)

Annexe 3. Interactions et effets possibles de la mauvaise adaptation des poissons issus de l'ESA sur la persistance et la productivité de la population de saumon sauvage

Tableau A3 : La colonne des éléments de preuve indique la source d'information qui soutient, quand elle est fournie, la cotation de probabilité (faible, moyenne, élevée) de l'importance de l'effet sur la valeur adaptative. Les preuves sont regroupées comme suit : preuves directes fondées sur des recherches empiriques sur l'ESA pour le saumon de l'Atlantique (SA) ou le saumon du Pacifique (SP), preuves indirectes provenant des programmes d'ensemencement de juvéniles (SA ou SP) ou autres preuves indirectes (autres espèces, modélisation ou études théoriques). Les références documentaires sont fournies dans Fraser (2016).

Interaction	Raisons pour lesquelles les composantes pourraient avoir une incidence sur la valeur adaptative de la population sauvage	Source et probabilité de l'importance de l'effet sur la valeur adaptative.	Éléments de preuve
Remise à l'eau des adultes issus de l'ESA			
compétition pour trouver des partenaires, perturbation du frai sauvage	- effets des conditions d'élevage sur le comportement de frai - agressivité, perturbation du choix du partenaire par les reproducteurs sauvages	sélection de domestication - augmentation de la probabilité d'une valeur adaptative réduite par rapport aux poissons sauvages avec l'écart accru entre les caractéristiques des adultes issus de l'ESA et celles des poissons sauvages	effets cumulatifs et synergiques des écarts concernant les multiples caractéristiques des poissons issus de l'ESA, voir l'annexe 2
Le frai a lieu plus tôt ou plus tard que celui des poissons sauvages	- répercussions des conditions d'élevage sur les taux et le moment de maturation de même que sur le choix du moment de la remise en liberté - surimposition d'œufs déposés par les femelles sauvages par des femelles issues de l'ESA qui pourraient frayer plus tard	sélection de domestication - probabilité d'une réduction de la valeur adaptative des poissons sauvages dans les grandes rivières où les périodes de frai se prolongeaient sur une longue période en raison des caractéristiques hétérogènes de l'environnement et des stocks	non examiné, à l'exception des poissons échappés de façon involontaire - le frai prolongé dans les grandes rivières comme la rivière Miramichi, propre aux sous-bassins
Descendants de parents issus de l'ESA			
Les descendants de poissons issus de l'ESA sont en compétition avec les juvéniles sauvages	- agressivité des parents issus de l'ESA transmise à la descendance - émergence plus précoce si le frai a lieu plus tôt - territorialité des juvéniles - différences dans la taille de la descendance - domination numérique potentielle	- réduction de la valeur adaptative des populations sauvages en raison de la survie en eau douce dépendante de la densité - réduction de la valeur adaptative du saumon sauvage lorsqu'une forte mortalité dépendante de la densité a des effets sur la densité élevée de juvéniles	la dépendance à l'égard de la densité en eau douce est bien établie pour le saumon de l'Atlantique

Interaction	Raisons pour lesquelles les composantes pourraient avoir une incidence sur la valeur adaptative de la population sauvage	Source et probabilité de l'importance de l'effet sur la valeur adaptative.	Éléments de preuve
Valeur adaptative des descendants de poissons issus de l'ESA en eau douce	- approvisionnement pour les œufs, d'autres effets maternels et paternels (épigénétiques) non génétiques ont une incidence sur la valeur adaptative de la descendance	- la valeur adaptative de la population sauvage est touchée seulement par les interactions dépendantes de la densité qui ont lieu avec les descendants de poissons issus de l'ESA et les descendants qui résultent d'un croisement entre un poisson issu de l'ESA et un poisson sauvage	
Valeur adaptative des descendants résultant d'un croisement entre de poissons issus de l'ESA et des poissons sauvages en eau douce	- perte de l'adaptation locale	- forte probabilité que la valeur adaptative intermédiaire des descendants résultant d'un croisement entre un poisson issu de l'ESA et un poisson sauvage par rapport aux poissons sauvages	Indirect (SA, SP)
Perte d'adaptation en mer	- une sélection assouplie des parents issus de l'ESA au cours de la phase marine pourrait se traduire par un taux de survie en mer moyen moins élevé de leur descendance par rapport à celle de la population sauvage	- forte probabilité de réduction de la valeur adaptative moyenne des descendants de poissons élevés en captivité associée à une sélection assouplie ou inexistante des parents issus de l'ESA au cours de la phase marine - forte probabilité de valeur intermédiaire pour les descendants de poissons issus de l'ESA et de poissons sauvages	Indirect (SA)
Portée du projet			
Augmentation de la proportion de poissons issus de l'ESA par rapport à la taille de la population sauvage totale (ESA + sauvage)	- voir les conséquences pour la valeur adaptative ci-dessus	- augmentation de la probabilité d'une diminution de la valeur adaptative de la population sauvage à mesure que la descendance des poissons issus de l'ESA et d'hybrides augmente en proportion par rapport à l'ensemble de la population	On ignore combien de générations seront nécessaires pour que la sélection naturelle rétablisse la valeur adaptative

Interaction	Raisons pour lesquelles les composantes pourraient avoir une incidence sur la valeur adaptative de la population sauvage	Source et probabilité de l'importance de l'effet sur la valeur adaptative.	Éléments de preuve
La durée des interventions d'ESA (prélèvement, élevage, empoissonnement) permet de produire des générations de poissons élevés en captivité jusqu'à ce que les objectifs soient atteints (objectifs concurrents : rétablir les populations dans le but de réduire le risque d'extinction/de rétablir l'accès aux pêches)	- sélection de domestication cumulative et perte de l'adaptation locale	- plus l'activité dure longtemps, plus l'écart par rapport aux populations sauvages risque d'être grand	On ignore combien de générations seront nécessaires pour que la sélection naturelle rétablisse la valeur adaptative
Utilisation accrue des saumoneaux sauvages (petites populations)	- réduction de la taille de la population sauvage émigrant en mer	- augmentation de la probabilité si l'abondance de la descendance du saumon sauvage diminue	On ignore combien de générations seront nécessaires pour que la sélection naturelle rétablisse la valeur adaptative
État de la population sauvage	- si le taux d'augmentation intrinsèque est faible (p. ex. près de 1) pour les poissons sauvages, les interactions avec les descendants de poissons issus de l'ESA peuvent réduire le taux à des niveaux inférieurs au seuil de remplacement	- augmentation de la probabilité de conséquences pour la valeur adaptative des poissons sauvages si le taux d'augmentation intrinsèque déjà faible (seuil de remplacement de la population) est réduit davantage, en raison d'interactions avec les descendants de poissons issus de l'ESA	On ignore combien de générations seront nécessaires pour que la sélection naturelle rétablisse la valeur adaptative
Objectifs du programme d'ESA - ensemencement des pêches - réduction du risque de disparition	- augmentation des pertes liées aux pêches, du fait que les poissons remis à l'eau dans le cadre du programme d'ESA pourront faire l'objet d'une pêche	- l'augmentation de la mortalité d'origine anthropique de la population des poissons sauvages, qui subit déjà un taux d'augmentation intrinsèque faible (seuil de remplacement de la population), en raison d'interactions avec les descendants de poissons issus de l'ESA	Indirect (SP)

LE PRÉSENT RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Golfe
Pêches et Océans Canada
C. P. 5030, Moncton (Nouveau-Brunswick) E1C 9B6

Téléphone : 506-851-6253
Courriel : csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2016

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2016. Risques et avantages des activités d'ensemencement avec du saumon juvénile élevé en captivité jusqu'à l'âge adulte pour la valeur adaptative du saumon de l'Atlantique sauvage (*Salmo salar*). Secr. can. de consult. sci. du MPO Avis sci. 2016/017.

Also available in English:

DFO. 2016. Risks and benefits of juvenile to adult captive-reared supplementation activities to fitness of wild Atlantic Salmon (Salmo salar). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2016/017.